V. Constantinescu

Măsurarea rezistenței de izolație

colecția electricianului

editura tehnică

Ing. **Valeriu Constantinescu**

Măsurarea rezistenţei de izolaţie

Editura tehnică
Bucureşti-1967

1. Necesitatea măsurării rezistenței de izolație

Tehnica actuală este caracterizată printr-o pătrundere din ce în ce mai mare a aplicațiilor electrotehnicii în procesul de producție și în viață. Complexitatea instalațiilor electrice crește continuu. În aceste condiții, problema siguranței în funcționare capătă o importanță deosebită, atît din punctul de vedere al ritmicității procesului de producție, cît și din punctul de vedere al indisponibilităților în instalație.

Printre parametrii care concură la determinarea siguranței în funcționare a dispozitivelor electrotehnice se numără și rezistența de izolație. Aprecierea valorii rezistenței de izolație se face fie prin *verificarea rigidității dielectrice*, fie prin *măsurarea rezistenței de izolație*.

Prima metodă constă în supunerea izolației la o tensiune ridicată, stabilită prin standarde (STAS 1893/66), în scopul de a se verifica direct capacitatea izolantului de a împiedica scurgerile de curent prin masa și pe suprafața lui. Tensiunea de încercare este mai mare decît tensiunea nominală (de exemplu 2 $U+1000$ V), în scopul de a se asigura o zonă de siguranță pentru cazurile cînd tensiunea de alimentare ar crește accidental, peste valoarea nominală.

Cea de a doua metodă are o valoare informativă; ea furnizează informații despre starea momentană a izolației. Datorită simplității aparaturii de măsurare și a metodei de măsurare, această metodă este larg utilizată în exploatarea echipamentului electric. Normele interne ale produselor electrotehnice, instrucțiunile de funcționare, regulamentele de exploatare, standardele, prevăd obligativitatea

verificării rezistenței de izolație înaintea punerii în funcțiune a echipamentelor electrice, precum și după anumite perioade de funcționare sau repaus. Verificarea rezistenței de izolație are drept scop să oprească punerea în funcțiune a echipamentului în condițiile în care izolantul nu poate împiedica scurgerile de curent pe căi nedorite. Cazurile în care se pune în funcțiune echipamentul în condițiile unei slabe rezistențe de izolație se pot solda cu distrugerea echipamentului, cu scoaterea din funcțiune a rețelei de alimentare și cu alte inconveniente de natură a împiedica desfășurarea unei activități continue și sigure.

Rezistența de izolație normală constituie o primă garanție de funcționare corectă a echipamentului electric.

2. Rezistența de izolație

Legea lui Ohm (în curent continuu),

$$I = \frac{U}{R}, \tag{2.1}$$

ne permite să calculăm valoarea curentului electric I ce se stabilește într-un circuit, sub acțiunea unei tensiuni electromotoare U. Cel de-al treilea element din formulă, R, este o mărime electrică prin care se măsoară capacitatea materialului din care este confecționat circuitul, de a se opune trecerii curentului prin el. Această mărime electrică a primit numele de *rezistență* și se notează în formule cu R sau r.

Conductibilitatea și rezistența. Corpurile din natură, materialele, nu se comportă în același fel față de trecerea curentului electric prin ele. Unele, cum sînt metalele, se opun mai puțin trecerii curentului electric prin ele, acestea fiind „bune conducătoare de electricitate" sau, pe scurt, *conductoare*.

Altele, cum sînt cauciucul, sticla, porțelanul, se opun foarte mult trecerii curentului prin ele; acestea sînt „rele

conducătoare de electricitate" și se numesc pe scurt *izolatoare* sau *dielectrici.*

Există o categorie de materiale care nu aparține nici grupei conductoarelor nici celei a izolatoarelor. Aceste materiale, ce au primit numele de *semiconductoare,* se comportă în anumite situații ca materialele conductoare, în alte situații ca cele izolatoare.

Împărțirea materialelor în aceste grupe nu este pentru toate materialele bine definită. În natură nu există corpuri care să aibă rezistența zero, adică să nu opună nici o rezistență trecerii curentului, precum nu există nici corpuri care să aibă o rezistență atît de mare încît să nu permită deloc trecerea curentului. De aceea, putem să vorbim nu despre capacitatea materialelor de a se „opune" trecerii curentului prin ele, ci despre capacitatea materialelor de a „permite" trecerea curentului. Această proprietate a corpurilor de a permite trecerea curentului electric prin ele o numim *conductibilitate.*

Mărimea care măsoară conductibilitatea corpurilor o numim *conductanță* și o notăm în formule cu litera G sau g; ea este inversa rezistenței

$$G = \frac{1}{R}. \tag{2.2}$$

De aceea, legea lui Ohm poate fi scrisă și astfel

$$I = G\,U, \tag{2.3}$$

utilizînd conductanța nu rezistența.

În studiul electrotehnicii ca și al disciplinelor cu caracter electrotehnic este indiferent cu care mărime se lucrează pentru că ele sînt perfect echivalente. În prezenta lucrare se va folosi rezistența.

Rezistivitatea. Rezistența unui material depinde de natura materialului, de lungimea lui, de suprafața secțiunii lui și de temperatura lui. Pentru a putea compara între ele, din punctul de vedere al rezistenței, diferite materiale, se măsoară rezistența unor eșantioane din aceste materiale. Bineînțeles că lungimea, secțiunea și temperatura trebuie să fie aceleași pentru toate eșantioanele, căci altfel nu putem compara între ele materialele.

În tehnică se întîlnesc două sisteme de dimensiuni pentru aceste eșantioane:

— sistemul în care eșantionul de material are lungimea 1 m și secțiunea 1 mm^2; acest sistem se utilizează mai ales la măsurarea rezistenței conductoarelor;

— sistemul în care eșantionul de material este un cub cu latura de 1 cm, deci cu lungimea de 1 cm și secțiunea de 1 cm^2; acest sistem se utilizează mai ales la măsurarea rezistenței lichidelor și izolatoarelor.

Pentru ambele sisteme temperatura este cea obișnuită a camerei, 20°C. Rezistența acestor eșantioane reprezintă rezistența specifică a materialelor și poartă numele de *rezistivitate*. Fiecare material are o rezistivitate proprie și materialele se deosebesc între ele prin valoarea acesteia.

Rezistența de izolație. Utilizarea materialelor în construcțiile electrotehnice se face ținîndu-se seama de proprietățile lor electrice. În particular se ține seama de rezistivitatea lor. Materialele cu rezistivitate mică, așa cum sînt cuprul, aluminiul, se utilizează drept conductoare, drept căi de curent. Cu ajutorul lor se realizează circuitele electrice, legătura dintre sursa de tensiune și receptorul electric.

Datorită proprietății conductoarelor de a opune o rezistență foarte mică trecerii curentului, acesta curge de la sursă la receptor pe căile pe care dorim noi să curgă.

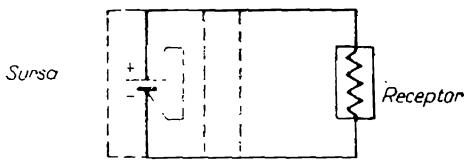


Fig. 2.1. Elementele circuitului electric.

Trebuie să împiedicăm scurgerea curentului pe alte căi (de exemplu pe cele reprezentate punctat în fig. 2.1), întrucît aceste căi netrecînd prin receptor constituie pierderi sau scurgeri de curent. Pentru aceasta este necesar ca toate piesele ce alcătuiesc circuitul (borne, conduc-

toare de legătură, înfășurări etc.), și care în mod obișnuit sînt metalice, să fie izolate de alte piese conducătoare (metalice) care nu sînt destinate a face parte din circuit. Această izolare se realizează intercalîndu-se între piesele circuitului (care se găsesc sub tensiune) și piesele metalice vecine un material izolant. De exemplu, un motor electric asincron are sub tensiune următoarele piese: conductoarele înfășurării, cablurile de legătură, bornele și punțile de legătură. Aceste căi de curent sînt izolate față de miezul statorului, față de carcasa motorului, față de cutia de borne.

Anterior s-a afirmat că nu există izolant perfect, care să nu permită deloc trecerea curentului prin el. Prin urmare nu se pot evita total scurgerile de curent, dar se pot limita aceste scurgeri la valoarea dorită. Mărimea care limitează aceste scurgeri este rezistența materialului izolant utilizat. Aceasta se calculează cu legea lui Ohm,

$$R_x = \frac{U}{I}, \tag{2.4}$$

unde: R_x este rezistența de izolație;
U — tensiunea la care este supus materialul izolant;
I — curentul de pierderi (de scurgeri) prin materialul izolant.

Căile pe care curentul electric străbate izolantul, sînt:
— prin grosimea izolantului sau prin volumul lui;
— pe suprafața izolantului.

Fiecare din aceste căi opune curentului electric rezistențe diferite, corespunzător se definesc două tipuri de rezistențe de izolație:
— rezistență interioară sau de volum;
— rezistență de suprafață.

Măsurarea acestor două rezistențe și a rezistivităților corespunzătoare se realizează în laboratoare conform STAS 6107-59. În practică, în toate cazurile există ambele rezistențe.

Se numește *rezistență de izolație* rezultanta acestor două rezistențe, indiferent de modul lor de compunere.

Ea este definită ca proprietatea unui material izolant de a se opune trecerii curentului electric determinat de o tensiune continuă U, iar valoarea ei se calculează cu formula (2.4).

În exploatarea mașinilor, aparatelor și instalațiilor electrice, rezistența de izolație nu rămîne totdeauna la valoarea pe care ea a avut-o inițial. Cu timpul rezistența de izolație își micșorează valoarea și ca o consecință curenții de scurgeri cresc. Creșterea pierderilor în dielectric (în materialul izolant) are drept consecință creșterea temperaturii dielectricului, iar creșterea temperaturii — scăderea rezistenței de izolație. Procesul se continuă din ce în ce mai accentuat, pînă cînd dielectricul își pierde proprietățile izolante. Acest fenomen duce la scoaterea din funcțiune sau la distrugerea completă a mașinii. aparatului sau instalației electrice. De aici rezultă necesitatea de a se verifica periodic rezistența de izolație, pentru a se preîntîmpina aceste defecte grave.

Principalele cauze pentru care rezistența de izolație slăbește sînt următoarele:

— Îmbătrînirea naturală a izolației: este un proces chimic care se produce în masa izolantului. Sub acțiunea acestui proces materialul izolant își modifică structura și drept consecință își modifică proprietățile. Ilustrarea cea mai cunoscută a acestui proces este îmbătrînirea cauciucului. Cauciucul îmbătrînit își pierde elasticitatea devenind sfărîmicios și își micșorează rezistența de izolație. Fenomenul de îmbătrînire naturală se petrece la toate materialele izolante într-un timp mai scurt sau mai îndelungat, după material.

— Îmbătrînirea accidentală sau forțată a izolației este datorită supunerii ei la temperaturi peste valoarea maximă admisibilă indicată de fabricant. Ea poate fi identică cu cea naturală, dar mai accelerată, atunci cînd temperatura nu depășește prea mult limita admisă, dar poate fi de altă natură cînd se depășește mult limita admisă de temperatură. În acest din urmă caz se spune uzual că izolația „se arde". În cazul materialelor organice este vorba de o ardere efectivă, izolația carbonizîndu-se.

— Umezirea izolației constituie o cauză importantă a slăbirii ei. Umiditatea acționează pe două căi asupra valorii rezistenței de izolație. Prin condensare pe suprafața izolantului slăbește rezistența de suprafață, iar prin infiltrare în masa izolantului slăbește rezistența de volum.

— Depunerea de praf ce conține particule conductoare (cărbune, pilitură metalică) pe suprafața izolantului micșorează mult rezistența de suprafață, favorizînd fenomenul de conturnare a izolației, adică apariția unei căi conducătoare de curent pe suprafața acesteia.

Există și alte cauze care duc la slăbirea rezistenței de izolație, ca: medii corozive de vapori și gaze, acțiunea unor factori climatici (radiații solare intense), mucegaiuri, insecte, apa de mare etc.

3. Unități de măsură

Mărimile electrice care intervin în măsurările de izolație au, ca orice mărime fizică, unități de măsură. În formulele în care utilizăm aceste mărimi apar adesea numai simbolurile mărimilor, fără să se indice unitățile de măsură în care sînt exprimate. Acest fapt duce adesea la confuzii și greșeli pentru că formulele sînt valabile numai pentru anumite unități de măsură. Totalitatea unităților de măsură utilizate într-un anumit domeniu de activitate constituie sistemul de unități de măsură. În tehnică se folosește sistemul M.K.S.A., în care mărimile fundamentale (lungimea, masa, timpul și curentul electric) se măsoară în metri [m], kilograme [kg], secunde [s], amperi [A].

În măsurările de izolație se utilizează și următorii submultiplii:

— miliamperul, $1\ \text{mA} = \frac{1}{1\,000}\ \text{A}$;

— microamperul, $1\ \mu\text{A} = \frac{1}{1\,000\,000}\ \text{A}$.

Tensiunea are un multiplu, kilovoltul

$$1\ kV = 1\,000\ V.$$

Rezistența are unitatea de măsură ohmul, notat cu simbolul Ω. În măsurările de izolație se utilizează și următorii multiplii:

— kiloohmul, $1\ k\Omega = 1\,000\ \Omega$;

— megohmul, $1\ M\Omega = 1\,000\,000\ \Omega$.

Rezistivitatea sau rezistența specifică se măsoară în

— ohm-centimetru, $\Omega \cdot cm$;

— ohm-milimetru pătrat pe metru, $\Omega\ \frac{mm^2}{m}$.

Prima unitate se utilizează în măsurările de izolație, iar cea de a doua în măsurările rezistenței conductoarelor. Trebuie remarcat că nici una din aceste unități de măsură nu aparține sistemului M.K.S.A., unde lungimile se măsoară numai în metri.

Între cele două unități de măsură pentru rezistivitate există relațiile:

$$1\,\Omega \cdot cm = \frac{1}{10\,000}\,\Omega\,\frac{mm^2}{m};$$

$$1\,\frac{\Omega \cdot mm^2}{m} = 10\,000\,\Omega \cdot cm.$$

4. Metode de măsurare a rezistenței de izolație

Rezistențele de izolație se deosebesc fundamental de rezistențele conductoarelor metalice prin valoarea lor (sute de mii pînă la milioane de ohmi) și prin faptul că ele depind de condițiile de măsurare, ca: tensiunea aplicată, temperatura, umiditatea. Din această cauză, măsurarea rezistenței de izolație nu se mai poate face prin metodele obișnuite, ci prin metode speciale de măsurare: metoda

galvanometrului, metoda pierderii de sarcină, metoda substituției etc. În principiu aceste metode constau în realizarea unor circuite electrice în care este inclusă și rezistența de izolație. În aceste circuite se măsoară direct sau se compară mărimi electrice — tensiune, curent.

4.1. Condiții de măsurare

Datorită faptului că rezistențele de izolație sînt foarte mari (de ordinul a 10^6—10^{20} Ω) curenții care trec prin dielectric și care trebuie măsurați sînt foarte mici. De aceea, curenții care se închid pe alte căi decît prin dielectricul a cărui rezistență o măsurăm constituie surse de erori. Dintre aceștia, curenții capacitivi constituie sursa cea mai importantă. Orice cale de curent are o capacitate față de pămînt, față de circuitele vecine și față de porțiuni din același circuit. Prin aceste capacități se scurg curenți electrici care falsifică măsurarea. Pentru a se evita acești curenți, la măsurările de izolație se utilizează numai tensiune continuă deoarece curentul continuu nu trece prin capacități.

Valoarea tensiunii continue de măsurare trebuie să fie de ordinul de mărime al tensiunii nominale a aparatului sau instalației care se verifică, dar nu mai mică decît 100 V. Această condiție are drept scop ca măsurarea rezistenței de izolație să se facă în condiții cît mai apropiate de cele în care se găsește izolantul în practică. Dar în practică se întîlnesc tensiuni foarte diferite, de la 12 V pînă la sute de kilovolți. Este evident că nu se poate prescrie pentru fiecare instalație o anumită tensiune. De aceea tensiunile surselor pentru măsurarea rezistenței de izolație au fost normalizate la: 100 V, 500 V, 2 500 V și 5 000 V.

Dependența valorii rezistenței de izolație de temperatura izolantului este un factor foarte important care trebuie avut în vedere în normarea rezistențelor de izolație, în metodele de măsurare și în interpretarea rezultatelor verificărilor.

Rezistența de izolație scade rapid cu creșterea temperaturii. Dăm rezultatele măsurării rezistenței de izolație a unui stator izolat în clasa A (bumbac, hîrtie), executată la diferite temperaturi:

Temperatura înfășurării, °C	0	10	15	20	40	60	80	100
Rezistența de izolație, MΩ	20	10,2	8	6,5	2,2	0,75	0,22	0,08

După cum se remarcă, între 15° și 100°C rezistența de izolație scade de 100 ori. Această proprietate impune indicarea temperaturii la care trebuie să se facă măsurarea, iar normarea rezistențelor de izolație minime admisibile trebuie să se facă cu indicarea temperaturii la care se face măsurarea. În acest sens se folosesc „Instrucțiunile M.E.E. 59-55" pentru înfășurarea de înaltă tensiune a transformatoarelor de tensiune pînă la 10 kV, care prevăd următoarele rezistențe de izolație admisibile în exploatare:

Temperatura înfășurării, °C	5	10	20	30	40
Rezistența de izolație admisibilă, MΩ	3 300	2 150	1 000	570	240

Se remarcă că pentru variațiile de temperatură obișnuite ale mediului ambiant, de la 20°C la 30°C, rezistența de izolație normată scade de circa 2 ori.

4.2. **Metoda galvanometrului**

Această metodă este răspîndită atît în laborator cît și în practica industrială. Metoda constă în măsurarea curentului ce trece printr-un material izolant supus la o diferență de potențial continuă U, cunoscută sau măsurată. Schema de măsurare este reprezentată în fig. 4.1.

Această schemă permite măsurarea rezistenței și a rezistivității de volum, de suprafață și globale, cu ajutorul comutatorului K_2. Electrodul E_2, care joacă rolul inelului de gardă, are drept scop să deriveze curentul ce se scurge pe suprafața izolantului atunci cînd măsurăm rezistența de volum. Se vede că dacă comutatorul K_2 este

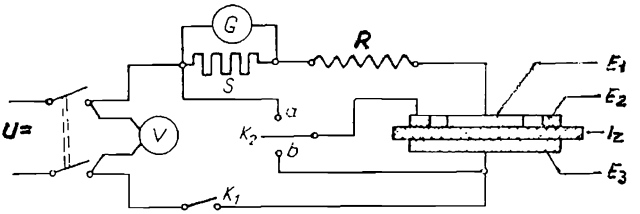


Fig. 4.1. Schema de montaj pentru măsurarea rezistențelor de izolație:

S — suntul galvanometrului; *R* — rezistență de protecție a galvanometrului; E_1 și E_3 — electrozi; E_2 — inel de gardă; l_2 — material izolant.

pe poziția *a* curentul ce se scurge pe suprafața izolantului între electrozii E_1 și E_2 nu trece prin galvanometru, deci nu este măsurat. Cînd K_2 este pe poziția *b* se măsoară rezistența globală.

Cunoscîndu-se toate elementele circuitului, cu ajutorul legii lui Ohm se calculează rezistența de izolație. Această metodă este o metodă de laborator. În practica industrială această metodă a galvanometrului se utilizează cu următoarele transformări:

— sursa de tensiune este de obicei un mic generator de curent continuu acționat manual;

— galvanometrul este gradat direct în unități de rezistență; acest lucru este posibil numai dacă tensiunea generatorului-sursă este constantă, deoarece numai atunci, conform legii lui Ohm, la o valoare a curentului *I* corespunde o valoare bine determinată a rezistenței.

Întregul circuit astfel realizat este cuprins într-un singur aparat denumit *ohmmetru* sau *megohmmetru*. Schemele industriale după care se realizează megohmmetrele diferă de schema de laborator din fig. 4.1. Apar anumite circuite de corecție și de protecție pe care le vom analiza

mai departe. În principiu se utilizează două tipuri de schemă:

— scheme în care rezistența necunoscută este legată în serie cu dispozitivul de măsurat (fig. 4.2);

— scheme în care rezistența necunoscută este legată în paralel (fig. 4.3).

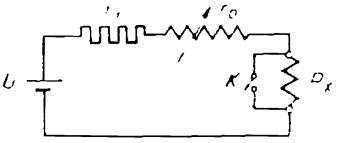


Fig. 4.2. Schema megohmmetrului cu rezistența necunoscută legată în serie.

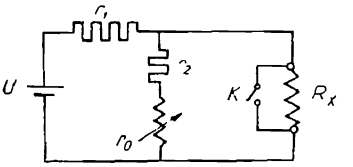


Fig. 4.3. Schema megohmmetrului cu rezistența necunoscută legată în paralel.

În aceste scheme r_0 este rezistența bobinei mobile a aparatului de măsurat. Schema serie se folosește pentru măsurarea rezistențelor de izolație mari, peste 1 000 Ω. Pentru rezistență de izolație zero, curentul în circuit este maxim, iar pentru rezistență infinită, curentul în circuit este zero. Prin urmare, pe scala galvanometrului se găsesc valorile mari ale rezistenței (în stînga scalei), deci ohmmetrul va avea scală inversă. Schema derivație se utilizează pentru măsurarea rezistențelor de izolație mici. Dacă rezistența R_x este zero, curentul este minim și invers, prin urmare scala galvanometrului va fi gradată normal cu valorile mari în dreapta.

5. Aparate pentru măsurarea rezistenței de izolație

Ohmmetrele sau megohmmetrele se compun dintr-un aparat de măsurare a curentului, dintr-un mic generator de curent continuu cu mecanism de acționare manuală și din diferite rezistențe ce formează circuite de corecție și

protecție. După tipul schemei interioare, megohmmetrele se împart în două clase:

— megohmmetre cu aparate cu magnet permanent și bobină mobilă;

— megohmmetre cu aparate logometrice cu magnet permanent.

5.1. Aparate cu magnet permanent și bobină mobilă (aparate magnetoelectrice)

Aceste aparate se compun în principiu dintr-un magnet permanent, o bobină mobilă în formă de cadru, un miez magnetic și două resoarte spirale (fig. 5.1).

Aceste piese au următoarele roluri:

— magnetul permanent creează în întrefier un cîmp magnetic de inducție B, care împreună cu curentul I din bobina mobilă dă cuplul activ al aparatului, care rotește acul indicator;

— miezul magnetic are rolul să uniformizeze cîmpul în întrefierul aparatului, unde se mișcă latura activă a bobinei mobile; de asemenea el are rolul să dirijeze cîmpul magnetic perpendicular pe latura activă a bobinei;

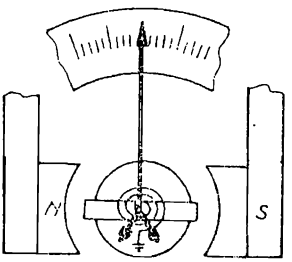


Fig. 5.1. Aparat magnetoelectric.

— bobina mobilă este străbătută de curentul de măsurat I; ea poartă acul indicator și sub acțiunea cuplului activ se rotește cu un unghi $\alpha°$;

— resoartele antagoniste au rolul să lege capetele bobinei mobile la bornele de intrare și ieșire ale aparatului; ele mai au rolul să creeze un cuplu antagonist proporțional cu deviația acului aparatului (adică cu unghiul de rotire al bobinei mobile).

Aparatul funcționează astfel: curentul I de la bornele aparatului se aduce prin resoartele antagoniste la bobina mobilă. Între acest curent I și cîmpul de inducție B din

întrefierul aparatului ia naștere un cuplu activ C proporțional cu I și cu B. Cum B este constant, rezultă că C este proporțional cu curentul I. Sub acțiunea cuplului activ C bobina mobilă se rotește. Acestei rotiri i se opune cuplul antagonist dat de resoartele antagoniste. Cum acesta din urmă este proporțional cu unghiul de rotație, rezultă că la un anumit unghi, cuplul antagonist ajunge egal cu cuplul activ, deci bobina mobilă nu se mai rotește. Astfel, acul indicator al aparatului fixat pe cadrul bobinei mobile indică o deviație α care este proporțională cu curentul I ce trece prin bobina mobilă.

În măsurarea rezistenței de izolație, aparatele magnetoelectrice impun ca tensiunea de alimentare a circuitului de măsurat să fie constantă, altfel indicația aparatului pentru aceeași valoare a rezistenței de izolație variază cu tensiunea. Dar tensiunea fiind produsă de un generator acționat manual, depinde de turația cu care operatorul rotește maneta de acționare. În aceste condiții indicația aparatului este influențată de operator și, de fapt, măsurarea nu se poate face. Megohmmetrele cu asemenea aparate au prevăzute sisteme de stabilizare a tensiunii, care însă complică fie aparatul, fie măsurarea, de aceea ele nu se mai fabrică în prezent.

5.2. **Aparate logometrice**

Aceste aparate diferă de cele magnetoelectrice prin faptul că organul mobil se compune din două bobine așezate în cruce, de unde și numele pe care-l mai poartă de *aparate cu bobine încrucișate*. Fiecare bobină se leagă separat și modul de legare în schemă determină anumite caracteristici ale aparatului. Necesitatea utilizării acestor aparate, care sînt mai complicate decît cele magnetoelectrice, este impusă de un avantaj important pe care îl au în măsurările de izolație.

În schemele de măsurare a rezistenței de izolație, aparatul măsoară de fapt un curent. Din legea lui Ohm aplicată circuitului de măsurat putem calcula rezistența și putem grada scala aparatului direct în unități de rezis-

tență, adică în ohmi. Dar calculul presupune că tensiunea rămîne constantă și egală cu tensiunea cu care s-a gradat scala aparatului. Acest lucru este însă greu de realizat. Vom vedea mai departe ce dificultăți tehnice și ce complicații apar pentru satisfacerea acestei condiții. Pentru a elimina influența variației tensiunii asupra măsurării, la aparatele logometrice s-a introdus a doua bobină mobilă.

Cele două bobine mobile B_1 și B_2 (fig. 5.2) sînt legate solidar în cruce, formînd cadrul mobil pe care este fixat acul indicator al aparatului. Bobinele sînt conectate fiecare în cîte un circuit alimentat de o tensiune comună U. Bobina B_2 are elementele circuitului U și R constante, iar bobina B_1 are în circuit un element necunoscut (rezistența R_x). Dacă tensiunea U este constantă, curentul din bobina B_2 este constant, iar curentul din bobina B_1 variază direct proporțional cu rezistența R_x.

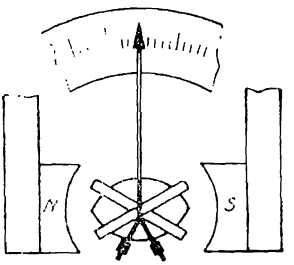


Fig. 5.2. Aparat logometric.

Cînd bobinele B_1 și B_2 sînt străbătute de curenții I_1 și I_2, ele caută fiecare să se așeze perpendicular pe direcția NS a cîmpului magnetic. Cum bobinele sînt așezate de o parte și de alta a axei cîmpului magnetic, cele două cupluri C_1 și C_2, produse de curenții I_1 și I_2, sînt de semne contrare, fiecare tinzînd să rotească acul indicator în sensuri opuse.

Constantele aparatului se aleg astfel încît cuplul activ produs de curentul I_1 din circuitul de măsurare este mai mare, deci acul se mișcă în sensul cuplului C_1. Dar bobina B_1, pe măsură ce se rotește în sensul cuplului, intră într-un spațiu cu cîmp magnetic mai slab, datorită formei întrefierului, în timp ce bobina B_2, care este rotită forțat în sens opus cuplului ei, intră într-un spațiu cu cîmp magnetic mai intens. Deci, pe măsură ce cadrul se rotește cuplul activ C_1 scade, iar cel antagonist C_2 crește. Cînd ele ajung egale, cadrul rămîne în echilibru. acul indicînd

o deviație α. În această poziție de echilibru cele două cupluri sînt egale

$$C_1 = C_2.$$

Cele două cupluri sînt proporționale cu curenții respectivi I_1 și I_2 și cu cîmpul magnetic în care se găsesc bobinele. Cîmpul magnetic nu este însă uniform (fig. 5.2); el variază cu unghiul α, deci și cuplurile C_1 și C_2 vor depinde de deviația α. Dependența celor două cupluri de deviația α nu este aceeași, deoarece în timp ce bobina B_1 se mișcă spre cîmpuri magnetice mai slabe, bobina B_2 se mișcă spre cîmpuri magnetice mai puternice. Această dependență este determinată de forma întrefierului. Prin urmare cuplul C_1 este proporțional cu curentul I_1 și depinde într-un mod oarecare și de deviația α. Același lucru se poate spune și despre cuplul C_2, cu diferența că dependența lui de α este alta decît a lui C_1. Să presupunem, pentru simplificare, că cele două cupluri depind de α astfel:

$$C_1 = K_3\alpha;$$
$$C_2 = K_3\alpha^2,$$

unde K_3 este o constantă oarecare de proporționalitate.

În acest caz, formulele celor două cupluri sînt:

$$C_1 = K_1K_3I_1\alpha,$$
$$C_2 = K_2K_3I_2\alpha^2,$$

în care K_1 și K_2 sînt și ele constante de proporționalitate.

La echilibru $C_1 = C_2$, deci

$$K_1K_3I_1\alpha = K_2K_3I_2\alpha^2.$$

Dacă împărțim peste tot cu $K_2K_3I_2\alpha$, obținem

$$\frac{K_1}{K_2}\,\frac{I_1}{I_2} = \alpha$$

Deoarece K_1 și K_2 sînt numere, putem nota $\frac{K_1}{K_2} = K$ și vom avea

$$\alpha = K\,\frac{I_1}{I_2}. \qquad (5.1)$$

Din această egalitate se deduce că deviația α este proporțională cu raportul celor doi curenți. În realitate, dependența cuplurilor de deviația α nu este cea pe care

am presupus-o noi. Dar constructorii pot alege o asemenea formă a întrefierului încît în final să se obțină tot relația (5.1), care s-a stabilit făcînd această presupunere simplificatoare.

În formula (5.1), ambii curenți I_1 și I_2 sînt proporționali cu tensiunea comună U. Rezultă că în formulă se poate simplifica tensiunea și atunci deviația α nu mai depinde de tensiune.

5.3. Schemele logometrelor utilizate ca megohmmetre

Logometrul utilizat ca aparat pentru măsurarea rezistenței de izolație (ca megohmmetru) are o schemă în care unul din cei doi curenți ai bobinelor mobile rămîne constant (în raport cu rezistența necunoscută), iar al doilea variază în raport cu rezistența de măsurat. În fig. 5.3. este reprezentată schema de montaj a logometrului pentru măsurarea rezistențelor de izolație mari. Această schemă este de tip serie, deoarece rezistența necunoscută R_x este legată în serie cu bobina mobilă B_1. În bobina B_2 circulă un curent proporțional cu tensiunea U,

$$I_2 = \frac{U}{R_0}, \qquad (5.2)$$

unde R_0 este rezistența întregului circuit.

În bobina B_1 circulă un curent

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_x}. \qquad (5.3)$$

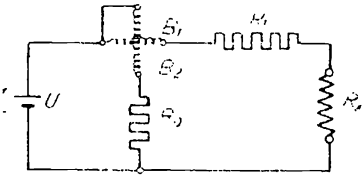


Fig. 5.3. Schema de montaj a logometrelor pentru măsurat rezistențe mari.

După cum s-a stabilit anterior, deviația acului indicator α este proporțională cu raportul acestor doi curenți:

$$\alpha = \frac{I_1}{I_2} = \frac{U/R_1 + R_x}{U/R_0}; \qquad (5.4)$$

simplificînd fracția cu U,

$$\alpha = \frac{R_1 + R_x}{R_0}. \qquad (5.5)$$

Cum R_1 și R_0 sînt rezistențe interne ale aparatului, de valoare constantă, rezultă că deviația acului α depinde numai de rezistența necunoscută R_x. Cu alte cuvinte aparatul măsoară mărimea R_x, deci putem grada scala aparatului direct în unități de rezistență.

O altă schemă de montaj a logometrului pentru măsurarea rezistențelor mici este reprezentată în fig. 5.4. Se vede că schema este de tip derivație, întrucît rezistența necunoscută R_x este în derivație cu bobina mobilă B_1.

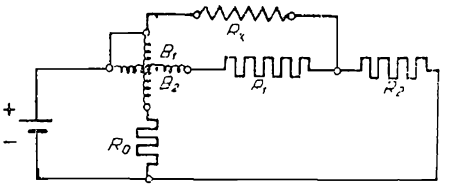


Fig. 5.4. Schema de montaj a logometrelor pentru măsurat rezistențe mici.

Curenții I_1 și I_2 au în acest caz o expresie mai complicată, însă în final se ajunge la același rezultat, că deviația acului indicator al aparatului depinde numai de rezistența necunoscută R_x.

Trebuie remarcat că la aparatele logometrice ambele cupluri (atît cel activ, cît și cel antagonist) sînt create de curenții ce trec prin cele două bobine mobile B_1 și B_2. Prin urmare, dacă aparatul nu este conectat, asupra acului indicator nu acționează nici un cuplu, deci acul stă într-o poziție oarecare și nu stă în dreptul gradației zero, cum se întîmplă la aparatele magnetoelectrice al căror cuplu antagonist este creat de cele două resoarte spirale.

5.4. **Megohmmetre de fabricație cehoslovacă**

Firma cehoslovacă Metra fabrică megohmmetre pentru tensiunile de 100, 500, 1 000 și 2 500 V. Dintre acestea se întîlnesc frecvent în România megohmmetrele de 500 și 1 000 V.

Dispozitivul de măsurare este logometric, deci cadrul mobil are două bobine încrucișate. Acest sistem de măsură elimină erorile de măsurare în cazul alimentării circuitului de măsură cu o tensiune neuniformă. Valoarea

rezistenței de izolație se citește direct în MΩ, pe scala aparatului. Sursa de tensiune este un mic generator de curent continuu cu colector, antrenat manual prin intermediul unui reductor cu roți dințate. Tensiunea la bornele generatorului este variabilă în funcție de turația pe care o asigură dispozitivul manual de acționare. Pentru a se amortiza variația de tensiune la bornele generatorului, se leagă în paralel cu el un circuit compus din condensatorul C și rezistența R_g. Condensatorul se comportă ca un rezervor tampon de energie, acumulînd energie cînd tensiunea crește peste valoarea nominală și cedînd energie cînd tensiunea scade sub valoarea nominală. Deci, cu alte cuvinte, efectul condensatorului este că uniformizează în anumite limite tensiunea generatorului. Rezistența R_g în serie cu condensatorul amortizează acțiunea condensatorului împiedicînd intrarea în oscilație. În fig. 5.5. este reprezentată schema completă a megohmmetrului de 500 V.

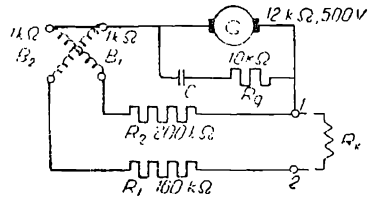


Fig. 5.5 Schema megohmmetrului Metra de 500 V.

Bobina de măsură B_1 este legată în serie cu rezistența de protecție R_1 și cu rezistența necunoscută R_x care se leagă între bornele *1* și *2*. Cea de a doua bobină B_2, care dă cuplul antagonist, este legată în serie cu rezistența de echilibru R_2. Sensibilitatea aparatului este de 0,05 MΩ. Este important să putem măsura rezistențele mici de izolație, deoarece aceste valori mici semnalează slăbirea izolației. Megohmmetrele Metra sînt prevăzute cu posibilitatea de a putea măsura comod, cu precizie, rezistențele mici de izolație. Pentru aceasta se realizează schema din fig. 5.6.

Această schemă se obține din cea reprezentată în fig. 5.5. în care s-a fracționat rezistența R_1 (de 160 kΩ) în două rezistențe: R_{11} (de 156 kΩ) și R_{12} (de 4 kΩ). iar rezistența adițională R_a se leagă ca în figură. Bornele *1*

și 2 ale schemei se scurtcircuitează cu o punte, iar rezistența necunoscută se leagă la bornele 3-4.

Pentru această schemă care, după cum se constată, este o schemă de tip paralel (fig. 4.3), este prevăzută pe scala aparatului o gradație separată, cu sensul de citire normal (valoarea zero la stînga scalei). Aceeași schemă se poate adapta pentru măsurarea rezistenței de izolație, eliminîndu-se curenții de scurgeri pe suprafață, în cazul cînd se măsoară rezistențele de izolație ale cablurilor de forță. Pentru aceasta se leagă borna 4 la mantaua de plumb a cablului, iar rezistența necunoscută se leagă la bornele 1 și 2.

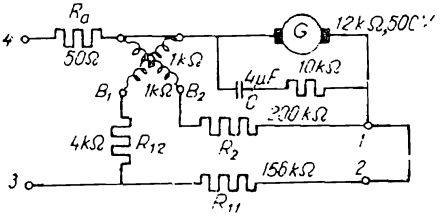


Fig. 5.6. Schema megohmmetrului Metra pentru măsurat rezistențe de izolație mici.

Megohmmetrul de 500 V se folosește pentru măsurări la echipamente de joasă tensiune și la curenți de valori medii. În joasă tensiune și la curenți slabi se folosește megohmmetrul de 100 V. Megohmmetrul de 1 000 V se folosește la instalații și mașini cu tensiuni pînă la 3 000 V și curenți mari (mașini electrice, linii de transport, de tracțiune electrică). Acest aparat, a cărui schemă este reprezentată în fig. 5.7, are domeniul de măsură între 0,1 MΩ și 100 MΩ.

Trebuie menționat că toate tipurile de aparate Metra au scala neuniformă, așa încît valorile de la capetele scalei se citesc cu eroare mare.

Aparatul Metra de 2 500 V se utilizează pentru măsurarea rezistenței de izolație la instalații, mașini, aparate și cabluri care pot suporta fără să se deterioreze tensiunea de 2 500 V.

Schema aparatului se deosebește de cele studiate anterior în privința sursei de tensiune și a aparatului de măsurat. Generatorul de tensiune este de curent alternativ.

Rotorul generatorului este realizat dintr-un magnet permanent cu patru poli. Statorul are miezul magnetic din fier moale cu patru poli pe care sînt fixate bobinajele statorice. Rotorul este acționat manual printr-un multiplicator de turație și printr-un regulator de turație. Generatorul funcționează într-o schemă de dublare a tensiunii cu ajutorul unor condensatoare. Pentru aceasta, aparatul are un comutator sincron K (fig. 5.8) care comută tensiunea de la borna generatorului, alternativ și sincron, pe cele două condensatoare C_1 și C_2.

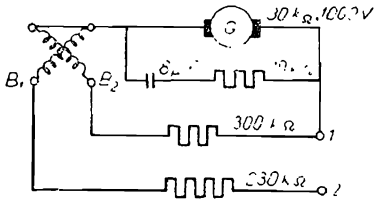


Fig. 5.7. Schema megohmmetrului Metra de 1 000 V.

Comutatorul K este realizat ca un ansamblu de contacte fixe și mobile acționate mecanic direct de către axul generatorului. Acționarea lui fiind directă, se realizează sincronizarea comutării tensiunii cu rotația rotorului, deci cu unda de tensiune produsă la bornele generatorului.

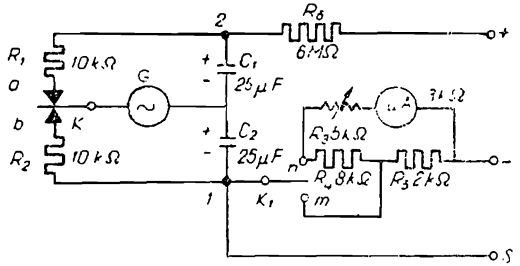


Fig. 5.8. Schema megohmmetrului Metra de 2 500 V.

Tensiunea alternativă a generatorului G servește la încărcarea condensatoarelor C_1 și C_2. Legăturile sînt astfel făcute încît tensiunile la bornele celor două condensatoare se adună în așa fel încît între punctele *2* și *1* avem o diferență de potențial de două ori mai mare ca cea dată de

generator. Sistemul funcționează în felul următor: în timpul alternanței pozitive a tensiunii generatorului, comutatorul K este pe poziția a și încarcă condensatorul C_1 cu polaritatea din fig. 5.8. Cînd tensiunea generatorului își schimbă sensul, comutatorul K se mută pe poziția b și încarcă condensatorul C_2, astfel că între punctele *1* și *2* găsim o diferență de potențial continuă, egală cu suma diferențelor de potențial de la bornele celor două condensatoare. Dispozitivul de măsură este de tip magnetoelectric (microampermetru cu magnet permanent și bobină mobilă). Dispozitivul de măsură este legat în serie cu rezistența necunoscută, montaj specific măsurării rezistențelor mari de izolație. El este montat într-o schemă ce cuprinde rezistențele R_3, R_4 și R_5 împreună cu un comutator K_1. Cînd comutatorul K_1 este pe poziția m rezistența R_4 de circa 8 kΩ se leagă în serie cu rezistența R_3 și cu microampermetrul, realizîndu-se o protecție a aparatului împotriva șocului de curent în cazul măsurării unor rezistențe foarte mici. Pe poziția n rămîne în serie cu aparatul numai rezistența R_3; astfel se mărește sensibilitatea aparatului. Rezistența R_6 legată de asemenea în serie pe circuitul de măsură are rolul de a dubla protecția microampermetrului împotriva curenților mari.

Datele tehnice ale aparatului sînt:

— turația manetei de acționare	160 rot/min;
— turația rotorului	2 690 rot/min;
— stabilizarea tensiunii	± 145 rot/min;
— domenii de măsurare:	0— 500 MΩ;
	50—5 000 MΩ;
— tensiunea de măsură	2 500 V;
— tensiunea de probă a izolației proprii	3 000 V;
— dimensiuni	141×141×102 mm;
— greutate (circa)	2 kg.

Procedeul de măsurare. Înainte de a începe măsurarea se verifică dacă acul este la semnul ∞. Reamintim că în schema serie aparatul are scala gradată invers. Dacă acul nu este pe semnul ∞ se corectează poziția lui învîrtind ușor cu o șurubelniță șurubul negru de pe capacul aparatului. Se leagă apoi bornele de măsură + și — în scurtcircuit și se pune comutatorul K_1 pe poziția *1*. Se

învîrteşte apoi maneta de acţionare cu o turaţie de 160 rot/min, acul indicator trebuie să indice diviziunea zero a scalei — în caz că nu indică diviziunea zero se corectează poziţia lui învîrtind şurubul alb de pe capacul aparatului. Aprecierea turaţiei manetei se face observînd mişcarea acului. Dacă acul oscilează în jurul diviziunii zero a scalei, turaţia manetei este prea mică. Acul oscilează şi cînd scurtcircuitarea bornelor nu este făcută bine. După accelerarea învîrtirii se observă că acul se stabilizează pe poziţia zero şi trebuie să se reţină ritmul de învîrtire în vederea repetării lui pentru executarea măsurării. Se desface apoi puntea de scurtcircuitare a bornelor şi se leagă la borne obiectul de măsurat, se învîrteşte maneta cu turaţia cunoscută şi se citeşte pe scala interioară rezistenţa de izolaţie în MΩ. Dacă rezistenţa citită este mai mare de 50 MΩ, se pune comutatorul K_1 pe poziţia 2 şi se citeşte rezistenţa de izolaţie pe gradaţia exterioară a valorilor mari. Pentru conectarea obiectului de măsurat se leagă borna — a aparatului la masă şi borna + la o piesă conductoare izolată a obiectului (bornă, perie, colector etc.). Pentru eliminarea curenţilor de scurgeri ce influenţează negativ precizia măsurătorii, se leagă borna *S* la suprafeţele metalice către care se scurg aceşti curenţi — în acest fel se conduc curenţii de scurgeri pe căi care nu trec prin aparatul de măsură. Trebuie avut în vedere ca conductoarele de legătură să nu fie în contact cu obiecte din jur, nici cu mîna operatorului pentru a nu se crea noi căi pentru curenţii de scurgere. O particularitate a măsurării rezistenţelor de izolaţie a instalaţiilor cu capacitate mare este cea a absorbţiei curentului debitat de megohmmetru pînă ce se încarcă capacitatea. Acest fenomen se observă prin faptul că acul aparatului deviază încet pînă la poziţia de echilibru. Pentru a nu face o măsurare greşită este necesar să continuăm învîrtirea aparatului pînă cînd se stabilizează acul, numai în acel moment să facem citirea indicaţiei aparatului. După terminarea măsurării, capacitatea rămîne încărcată şi poate produce şocuri neplăcute, dar nepericuloase, persoanelor care pun mîna pe căile de curent ale instalaţiei. Din acest motiv, după mă-

surare trebuie descărcată capacitatea, punînd la masă cu ajutorul unui cablu izolat un punct oarecare al căilor de curent.

În ce privește dependența măsurării de turația cu care se învîrtește maneta de acționare trebuie arătat că aparatul de măsură nefiind de tip logometric are o eroare de măsură. Eroarea este în sens invers cu abaterea de la turația nominală de 160 rot/min. De aceea, este mai bine să învîrtim mai repede maneta. Această eroare este compensată în parte de faptul că aparatele de tip magnetoelectric sînt mai precise decît cele logometrice și de faptul că valorile rezistenței de izolație al instalațiilor de înaltă tensiune sînt foarte mari sau foarte mici. În acest caz nu deranjează precizia aprecierii valorii rezistenței de izolație.

5.5. Megohmmetre de fabricație sovietică

5.5.1. *Megohmmetrul tip M.1101*

Acest tip are dispozitivul de măsură tip logometric. Aparatul se fabrică pentru tensiunile de măsură 100; 500; 1 000 V. Domeniile de măsurare ale aparatului sînt:

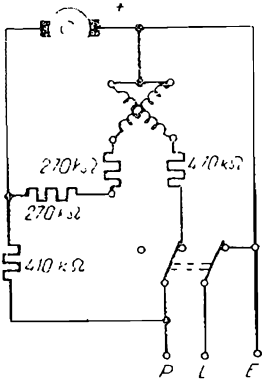


Fig. 5.9 Schema megohmmetrului sovietic M. 1101.

200 kΩ — 20 MΩ;
1 000 kΩ — 1 000 MΩ;
1 000 kΩ — 200 MΩ.

Schema aparatului de 1 000 V este reprezentată în fig. 5.9.

Turația cu care se rotește generatorul este 120 rot/min. Generatorul este prevăzut cu un regulator centrifugal care menține tensiunea la borne la o valoare constantă. Borna *E* servește la derivarea curenților de scurgere.

5.5.2. *Megohmmetrul tip MC. 06—2 500 V*

Schema acestui aparat este reprezentată în fig. 5.10.

Sursa de tensiune este un generator de curent continuu care dă direct la borne tensiunea 2 500 V la turația manetei de 120 rot/min. Aparatul de măsură este de tip logometric, circuitul de măsură este realizat prin bobina B_1 și rezistența R_1. Cu ajutorul comutatorului K se schimbă domeniul de măsurare, punîndu-se în paralel cu circuitul de măsurare R_1B_1, rezistența R_2 (K fiind pe poziția *b*) sau rezistența R_3 (K pe poziția *c*).

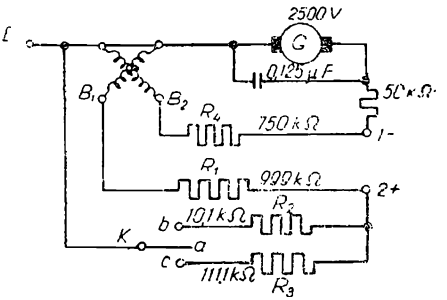


Fig. 5.10. Schema megohmmetrului sovietic MC. 06—2 500 V.

5.6. Megohmmetre de fabricație engleză

Firma Evershed și Vignoles fabrică un sortiment bogat de megohmmetre. În catalogul firmei se expun seriile de fabricație împreună cu recomandările firmei, privind domeniile de utilizare ale fiecărei serii.

Seria 1 de megohmmetre se fabrică în trei variante: cu acționare manuală, cu acționare manuală și cu motor, cu alimentare prin transformator și redresor. Aceste din urmă două variante se utilizează la măsurări de izolație care cer mai mult de 30 min în anumite metode moderne de măsurare a stării izolației. Aparatele acestei serii se execută la tensiunile 500; 1 000; 2 500; 5 000 și 10 000 V. Ele sînt prevăzute cu circuite de ecranare, precum și cu circuite de descărcare a capacităților. Toate aparatele acestei serii au scara cu două gradații. Firma recomandă utilizarea acestei serii pentru măsurarea rezistenței de izolație la: întrerupătoare, cabluri de

forță, transformatoare de forță, generatoare de curent alternativ de mare putere, motoare și generatoare de curent continuu de mare putere, precum și la echipamentul recomandat pentru seria 2.

Seria 2 de megohmmetre este realizată în carcasă de aluminiu și este acționată numai manual. Tensiunile de măsurare la această serie sînt 250, 500, 1 000 V. Toate au cîte două domenii de măsură și sînt prevăzute cu bornă de ecran care se utilizează numai în cazul măsurării rezistențelor de izolație mari. Firma recomandă pentru această serie următoarele utilizări: motoare de curent continuu și curent alternativ, echipament de forță cu tensiune nominală pînă la 500 V, aparataj și utilizările recomandate pentru seria 3.

Seria 3 de megohmmetre se fabrică pentru tensiunile de măsurare 100, 250 și 500 V. Aparatele sînt protejate de o carcasă de bachelită și sînt acționate manual cu manetă. Firma recomandă pentru această serie următoarele utilizări: unelte electrice portabile, motoare de curent continuu și curent alternativ, precum și dispozitivele lor de pornire, receptoarele de utilizare casnică, circuite și echipament pînă la tensiunea 250 V, lucrările de întreținere ale fabricilor.

Firma mai produce megohmmetre cu alimentare la o baterie de acumulatoare miniaturizate pe care le recomandă pentru aceleași utilizări ca seria 3.

5.7. **Megohmmetre de fabricație românească**

Întreprinderea pentru Raționalizarea și Modernizarea Instalațiilor Energetice (I.R.M.E.) fabrică două tipuri de megohmmetre, la tensiunea de 500 V; 1 000 V și la tensiunea de 2 500 V. Ambele tipuri sînt tranzistorizate.

Megohmmetrul 500/1 000 V are sursa de alimentare a circuitului de măsură constituită din două baterii uscate de 4,5 V fiecare, care alimentează un convertizor cu două tranzistoare de mică putere, care transformă tensiunea continuă a bateriei în tensiune alternativă. Această tensiune alternativă se aplică pe primarul unui transformator ridicător de tensiune (fig. 5.11), iar pe secundarul trans-

formatorului se culege o tensiune de 500 V cu o priză de 250 V. Ansamblul format din bateria de alimentare, grupul de tranzistoare și transformatorul îndeplinește aceeași funcțiune ca generatorul de c.a. al megohmmetrului Metra de 2 500 V (fig. 5.8).

Ca și la aparatul Metra 2 500 tensiunea alternativă de la transformatorul T este aplicată unui dublor de tensiune cu condensatoare. Pentru alimentarea convenabilă a condensatoarelor C_2 și C_3, pentru ca tensiunile la bornele lor să se însumeze sînt folosite două grupuri de diode D_1—D_3 și D_4—D_6. Aceste grupuri de diode permit alimentarea condensatoarelor numai cu polaritatea din fig. 5.11, în care caz tensiunea la bornele lor se însumează realizîndu-se între punctele a și b o tensiune continuă dublă față de tensiunea alternativă furnizată de transformator. Grupurile de diode jucînd rolul unui redresor dublă alternanță, îndeplinesc aceeași funcție ca și comutatorul K din construcția megohmmetrului Metra 2 500 (fig. 5.8).

Tensiunea continuă dintre nodurile a și b, U_{ab}, este aplicată circuitului de măsură format din rezistențele R_5, R_6, R_7 și logometrul L.

Rezistența necunoscută R_x se conectează între bornele B_1 și B_2. Rolul rezistențelor R_5 și R_7 este de a proteja circuitul bobinei B_1, care furnizează cuplul activ, împotriva șocului de curent, iar al rezistenței R_6 să regleze nivelul cuplului antagonist pe care îl furnizează bobina B_2.

Comutatorul K comută, pe prizele transformatorului, tensiunile 250 V și 500 V pentru a obține la bornele circuitului de măsură, între a și b tensiunile 500 și 1 000 V. Grupul format de rezistențele R_3, R_4 și lampa cu neon B_N are rol de semnalizare. El semnalizează, prin stingerea lămpii, descărcarea bateriilor și deci necesitatea înlocuirii lor. Lampa cu neon este montată pe scala aparatului, ea se stinge la tensiunea de 6,5 V în sarcină. Măsurarea efectuată cu lampa de neon stinsă este eronată.

Caracteristicile tehnice sînt:

— tensiunea de măsură	500/1 000 V;
— tensiunea de alimentare	2×4,5 V;
— clasa de precizie a instrumentului de măsură	2,5;

— domenii de măsură	0—100 MΩ;
(scală dublă)	0—100 MΩ;
— dimensiunile de gabarit	222×132×92;
— greutate	2,2 kg.

Metoda de lucru cu megohmmetrul I.R.M.E. este foarte simplă. Se pune comutatorul K pe tensiunea de măsură și se apasă butonul P, se observă aprinderea lămpii cu neon. Se verifică aparatul legînd bornele B_1 și B_2 în scurtcircuit (rezistență zero) în care caz acul aparatului trebuie să fie pe diviziunea zero a scalei și lăsînd bornele neconectate (rezistență infinită) în care caz acul aparatului trebuie să fie pe diviziunea ∞. La ambele verificări lampa cu neon nu trebuie să se stingă în timpul probei. Se întrerupe apoi butonul P, se conectează rezistența necunoscută și se efectuează măsurarea.

Megohmmetrul de 2 500 V are același principiu ca megohmmetrul de 500/1 000 V cu următoarea deosebire: controlul tensiunii de alimentare nu se face cu lampa cu

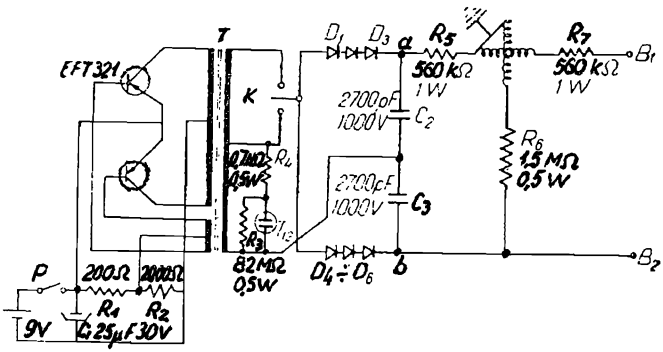


Fig. 5.11. Schema megohmmetrului I.R.M.E. 500/1 000 V.

neon, ci cu ajutorul unui circuit de control compus din rezistența R_6 și comutatorul C (fig. 5.12). Controlul tensiunii de alimentare se efectuează astfel: se închide comutatorul C fără să se conecteze rezistența necunoscută R_x,

se închide butonul de pornire P, se verifică dacă acul indicator se așază în dreptul sectorului de control marcat cu roșu pe scala aparatului, dacă nu, se manevrează potențiometrul P_t pînă cînd acul stă pe sectorul de control.

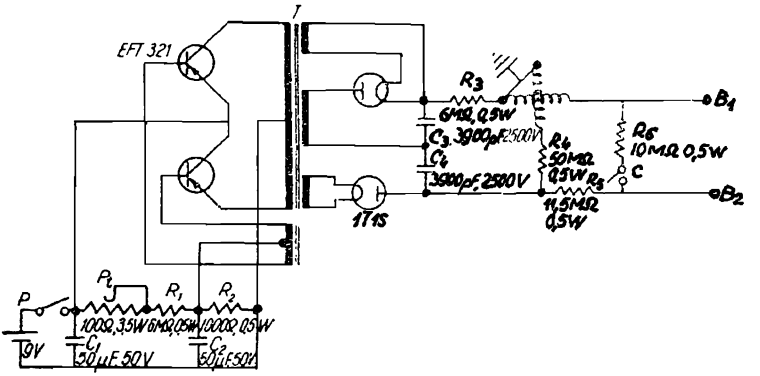


Fig. 5.12. Schema megohmmetrului I.R.M.E 2 500 V

Schema aparatului este reprezentată în fig. 5.12. Valoarea rezistențelor R_4 și R_5 se determină pe fiecare aparat la etalonarea lui. Domeniul de măsură al aparatului este 0—100 MΩ.

6. Măsurarea rezistenței de izolație a aparatelor, mașinilor și instalațiilor electrice

6.1. Considerații generale

Măsurarea rezistenței de izolație se face cu scopul de a verifica dacă aparatul, mașina sau instalația electrică, pe scurt, obiectul de măsurat, este destul de bine izolat pentru a putea funcționa în condiții normale. Pentru fiecare tip de mașină, instalație sau aparat electric se impune prin standarde, norme interne sau caiete de sarcini, valoarea minimă a rezistenței de izolație cu care este per-

misă funcționarea. Această valoare minimă depinde de tensiunea nominală de funcționare, de condițiile mediului ambiant, de importanța obiectului, de tipul lui. În cazul în care rezistența de izolație scade sub valoarea minimă admisă este interzisă punerea în funcțiune a obiectului. Funcționarea în condițiile de izolație sub valoarea minimă admisă poate provoca defecte grave obiectului sau instalației de alimentare, accidente de muncă, incendii. De aceea, la punerea în funcțiune sau după nefuncționarea mai îndelungată, sau după o funcționare în suprasarcină și în general după toate situațiile în care instalația a fost pusă sub acțiunea unor factori de îmbătrînire a izolației (subcap. 2.4) este obligatoriu să se verifice valoarea rezistenței de izolație. Operația de verificare se face diferit după tipul instalației. Este necesar ca electricianul care execută măsurarea de verificare a rezistenței de izolație să cunoască bine instalația atît pentru a face un control eficient, cît pentru a nu provoca prin operația de măsurare defecte instalației.

Un exemplu în această privință este edificator. Motoarele de curent continuu destinate funcționării pe nave funcționează cu condensatoare antiparazite montate la placa de borne (masa condensatorului este legată la masa mașinii). Încercarea izolației se face cu megohmmetrul de 1 000 V, dar condensatoarele suportă numai 250 V. Prin urmare este necesar să se deconecteze condensatoarele înainte de încercarea izolației, în caz contrar ele se distrug.

Tensiunea cu care se măsoară rezistența de izolație trebuie să fie cît mai apropiată de tensiunea nominală a obiectului de măsurat. În anumite cazuri în normele interne fabricantul indică și tensiunea de măsurare.

6.2. **Măsurarea rezistenței de izolație a motoarelor asincrone**

6.2.1. *Condițiile de lucru ale izolației mașinilor electrice*

De la furnizare și pînă la punerea în funcțiune a mașinii și mai departe în timpul exploatării, izolația mașinilor electrice este supusă acțiunii diferiților factori care

influenţează starea ei. Astfel, în timpul transportului de la fabrica constructoare la locul exploatării, precum şi în operaţiile de montare a maşinii izolaţia este supusă la: umezeală, temperaturi joase, frecări, trepidaţii etc. Cele mai importante acţiuni se constată însă în timpul exploatării maşinii. Aceste acţiuni depind de regimul de lucru şi condiţiile de mediu ambiant: umiditate, temperatura aerului înconjurător, gaze corozive, supratensiuni etc. Chiar în regimul normal de funcţionare, izolaţia maşinii este supusă unor acţiuni de distrugere produse de: cîmpul electric, încălziri normale şi anormale, eforturi mecanice, (forţe electrodinamice, vibraţii interioare, forţe centrifuge la părţile rotative etc.). În regimurile tranzitorii de funcţionare ca: porniri, opriri, inversări de sens de rotaţie, şocuri etc., intensitatea cîmpului electric, temperatura şi eforturile mecanice acţionează asupra izolaţiei depăşind cu mult pe cele care au loc în timpul regimului constant de funcţionare.

6.2.2. *Acţiunea factorilor interni şi externi asupra izolaţiei*

Acţiunea tensiunii electrice. Acţiunea îndelungată a tensiunii electrice asupra izolaţiei înfăşurărilor maşinilor de înaltă tensiune produce modificări importante asupra proprietăţilor dielectrice ale izolaţiei. Înrăutăţirea calităţilor dielectrice ale izolaţiei este urmată de scăderea proprietăţilor mecanice ale ei (devine sfărîmicioasă, casantă).

Sub acţiunea tensiunii mari, energia electrică se poate transforma, în masa izolantului în energie termică (încălzind suplimentar izolaţia), în energie mecanică (producînd fisuri în material), în energie chimică (cauzînd descompunerea materialului). Toate aceste procese pot avea loc simultan.

În maşinile de joasă tensiune, la care intensitatea cîmpului electric din izolaţie este mică, procesele de degradare electrică a izolaţiei sînt neînsemnate şi se poate considera că practic nu au loc.

Acţiunea temperaturii. Prin încălzire materialele izolante organice şi anorganice sînt supuse unor transformări

fizice și chimice care duc la pierderea elasticității și scăderea rezistenței mecanice a materialului. În cazul unei degradări termice mari scad și proprietățile dielectrice ale materialului. Materialele izolante se comportă diferit la acțiunea temperaturii, de aceea ele sînt împărțite în clase de izolație după temperatura pe care o pot suporta timp îndelungat fără să se degradeze.

Acțiunea umidității. În timpul ședерii mașinilor electrice într-o atmosferă umedă se observă o micșorare a rezistenței totale a izolației mașinii față de masă, din cauza umezirii izolației. De asemenea cresc pierderile dielectrice și se micșorează tensiunea de străpungere. Umezirea izolației mașinilor electrice este un proces complicat în care umiditatea din atmosferă este absorbită de suprafața izolației (umezirea de suprafață) și pătrunde în interiorul izolației răspîndindu-se în porii materialului. Trebuie menționat că procesul de umezire se poate inversa pentru că umiditatea se poate elimina din încălzire, restabilindu-se proprietățile inițiale. Totuși, prin umeziri repetate și uscări intense se mărește porozitatea materialului, ceea ce duce la o scădere a rezistenței lui la umezeală.

Acțiunea altor factori. Depunerea prafului conductor și neconductor pe suprafața izolației poate micșora valoarea rezistenței de suprafață a acesteia și poate duce chiar la descărcări de tensiune pe suprafața izolantului (în special la mașinile de înaltă tensiune). Aceste descărcări pot duce la distrugerea izolației și scoaterea mașinii din funcțiune.

Uleiul mineral și unsoarea depunîndu-se pe izolație, distruge părțile acesteia care nu rezistă la acțiunea uleiului (în special lacurile pe bază de bitum).

6.2.3. *Defectele mașinilor electrice cauzate de scăderea rezistenței de izolație*

Străpungerea izolației înfășurărilor. Străpungerea sau perforarea electrică a izolației constituie totdeauna un defect grav care scoate imediat mașina din funcțiune și necesită o înlocuire parțială sau totală a înfășurării.

Scurtcircuit între spirele înfășurării. Scurtcircuitele între spire, datorite deteriorării izolației, sînt foarte frecvente. În mașinile de curent continuu scurtcircuitările spirelor nu provoacă defectarea directă a mașinii. În bobinajul de curent alternativ scurtcircuitarea spirelor duce la apariția unor curenți mari în spirele scurtcircuitate, care provoacă o încălzire mare a spirelor și deteriorarea instalației din jur. De obicei scurtcircuitarea spirelor duce la întreruperea înfășurării și punerea lui la masă.

Creșterea pierderilor dielectrice în izolația mașinilor de înaltă tensiune. La acest tip de mașini creșterea pierderilor dielectrice se poate datora în unele cazuri deteriorării izolației. Cînd se constată o creștere a pierderilor dielectrice la mașinile de înaltă tensiune, acestea trebuie puse sub observație și este necesar să se stabilească un control special al stării izolației lor.

Măsurarea pierderilor în dielectric (tangenta unghiului de pierderi) se face cu punți de curent alternativ alimentate la tensiuni 2—10 kV, o dată la 3—5 ani și cu prilejul reparațiilor capitale. Dacă mașina este în funcție de peste 20 ani, în care timp nu i s-a refăcut integral izolația, măsurarea pierderilor se face în fiecare an.

Îmbătrînirea forțată a izolației. Aceasta este cea mai frecventă cauză care duce la deteriorarea izolației. Pierderea elasticității și a rezistenței mecanice duce la apariția fisurilor și apoi la ruperea materialului izolant, iar în cele din urmă se ajunge la scoaterea izolației din uz înainte de vreme. Cauza principală a îmbătrînirii forțate a izolațiilor este creșterea temperaturii peste cea admisă de clasa de izolație respectivă. Semnele exterioare care arată îmbătrînirea izolației sînt:

— culoarea materialelor deschise se închide, lacul se scorojește, pelicula devine casantă, se reduce rezistența mecanică a hîrtiei, a preșpanului și a altor materiale asemănătoare, se produc scurgeri de lac, se despică foile de mică, se fisurează suprafața izolației și apar semne de carbonizare;

— se produc scurtcircuitări mai ales la mașinile de înaltă tensiune;

— se umflă izolația, mai ales în canalele de ventilație, în locurile de ieșire a înfășurării din crestătură.

Slăbirea sistemului de fixare a înfășurărilor. Înfășurările trebuie să fie fixate solid în crestături și în regiunile frontale. După o funcționare îndelungată a mașinii se observă slăbirea fixării înfășurării în regiunea crestăturilor din cauza micșorării dimensiunilor penelor crestăturii și a izolației ce constituie teaca izolantă de crestătură. Acest fenomen se datorește contractărilor produse de uscarea materialelor electroizolante. Se mai slăbesc bandajele de strîngere a înfășurărilor rotorice.

6.2.4. *Motoare asincrone trifazate în scurtcircuit*

Cele mai des întîlnite în practică sînt motoarele asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit. În mod normal motoarele la tensiunea rețelei au scoase la placa de borne toate cele șase capete ale înfășurărilor statorice (fig. 6.1).

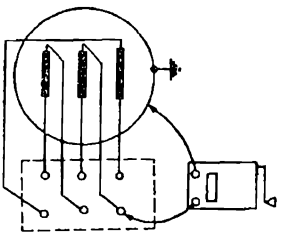


Fig. 6.1. Schema de legare la placa de borne a unui motor asincron în scurtcircuit.

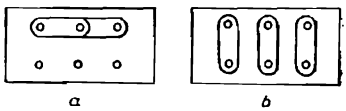


Fig. 6.2. Realizarea conexiunii la placa de borne.

Conexiunea mașinii se realizează cu ajutorul unor punți. Motoarele legate în stea au punțile montate ca în fig. 6.2, *a*, iar cele legate în triunghi au punțile ca în fig. 6.2, *b*. Pentru măsurarea rezistenței de izolație generală se leagă electrodul *L* al megohmmetrului (fig. 5.9) pe oricare din bornele statorului, iar electrodul de pămînt *P* se leagă la șurubul de pămînt sau la un punct metalic al

masei statorului. Pentru motoarele de joasă tensiune (pînă la 500 V), se indică rezistența de izolație minimă admisă în norma internă a produsului. Dacă nu este indicată atunci rezistența de izolație minimă admisă a mașinii trebuie să aibe valoarea (STAS 1893-66).

$$R_i = \frac{U}{1\,000 + \frac{P}{100}}, \qquad (6.1)$$

unde: R_i este rezistența de izolație măsurată, în MΩ;

U — tensiunea nominală a bobinajului mașinii măsurată, în V;

P — puterea mașinii, în kVA.

De exemplu, o mașină de 75 kW la tensiunea de 220/380 V, trebuie să aibe o rezistență de izolație minimă de

$$R_i = \frac{220}{1\,000 + \frac{75}{100}} = 0.22 \text{ MΩ}.$$

Practic vorbind întrucît nu se pot citi cu precizie valorile mici ale scalei aparatului, se adoptă ca rezistență minimă admisă valoarea 0,5 MΩ.

În cazul în care rezistența de izolație măsurată este mai mică decît cea minimă admisă, se desfac punțile la placa de borne pentru a izola fazele bobinajului și se măsoară rezistența de izolație a fiecărei faze, punînd electrodul *L* al megohmmetrului, pe rînd, pe cele trei borne de sus sau de jos.

În cazul în care toate cele trei faze au rezistența de izolație sub cea admisă înseamnă, sau că izolația este umedă, sau că ea este îmbătrînită. În ambele cazuri nu se pune în funcțiune mașina.

În cazul cînd numai o fază prezintă rezistență de izolație slabă se suflă de praf borna respectivă, se îndepărtează de masă (dacă este posibil) cablurile care vin la bornele fazei respective; dacă nici după aceste operații rezistența de izolație nu are valoarea admisă, defectul este în interiorul mașinii și ea trebuie demontată și reparată.

Valoarea normală a rezistenței de izolație a motoarelor de joasă tensiune este cuprinsă între 20 și 100 MΩ. Slăbirea izolației la limita minimă admisă poate fi temporară (în cazul umezirii înfășurărilor sau acoperirii cu praf a bornelor) sau permanentă în cazul îmbătrînirii izolației.

În asemenea situații, cînd se pune în funcțiune mașina, avînd rezistența de izolație la valoarea minimă admisă, la prima oprire a mașinii (după o funcționare mai îndelungată în care timp mașina s-a încălzit și a eliminat umezeala) se suflă de praf placa de borne și se reverifică rezistența de izolație. Dacă ea se păstrează la aceeași valoare, mică, este semn de îmbătrînire a izolației și mașina trebuie supravegheată în mod special, făcînd verificări de izolație mai dese pentru a evita funcționarea mașinii cu izolație, sub limita admisă.

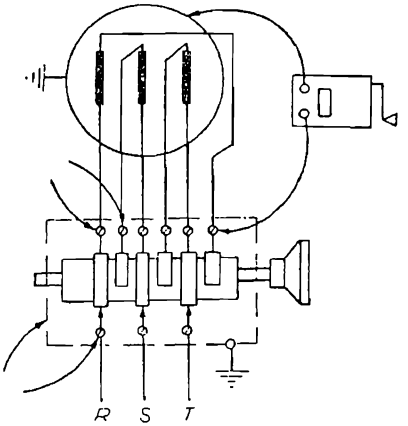


Fig. 6.3. Schema de legare a unui motor asincron cu comutator stea-triunghi.

În cazul motoarelor asincrone în scurtcircuit se întîlnește des în practică sistemul de pornire al motoarelor cu comutator stea-triunghi. Comutatorul stea-triunghi este un aparat care provoacă defecte în exploatare. Din cauza volumului său mic colectează praf în jurul bornelor și a pieselor sub tensiune, slăbind rezistența de izolație de suprafață și provocînd scurtcircuite la masă sau între faze. De asemenea, în cazul în care nu se manevrează corect, din cauza curenților mari pe care îi rupe, arcul electric dintre contacte slăbește izolația acestora producînd în final tot scurtcircuite.

Din aceste motive este necesar să se verifice izolația motorului și a demarorului. Legăturile la comutatorul stea-triunghi se execută ca în fig. 6.3.

Măsurarea rezistenței de izolație se face cu comutatorul pe poziția zero și legînd megohmmetrul la bornele notate *a, b, c* sau *x, y, z*, verificînd în acest fel bobinajul motorului. Apoi, după ce se deconectează alimentarea de la tabloul de distribuție se pune comutatorul pe poziția stea și se măsoară rezistența de izolație a ansamblului motor-comutator.

Trebuie avut în vedere faptul că măsurătoarea făcută în acest fel prinde și izolația cablului de alimentare de la tabloul de distribuție pînă la comutator. În cazul în care dorim să separăm comutatorul pentru a-i măsura rezistența de izolație trebuie să desfacem legăturile la bornele de alimentare (*R S T*) ale comutatorului.

La comutator este util să măsurăm și rezistența de izolație între faze. Pentru aceasta trebuie desfăcute și legăturile motorului și se verifică rezistența de izolație între faze pe ambele poziții ale comutatorului. Verificarea rezistenței de izolație se face conform STAS 1893-66 nu numai între căile de curent și masă, ci și între faze. Rezistența minimă de izolație între faze, calculîndu-se tot cu formula (6.1).

6.2.5. *Motoare asincrone cu rotorul bobinat*

Acest tip de motor are două înfășurări, una pe stator, alta pe rotor. Înfășurările rotorice sînt legate la inelele colectoare și prin perii aduse la placa de borne a rotorului. Schema de legături a acestui motor este reprezentată în fig. 6.4, unde a fost desenat și reostatul de pornire al motorului.

De obicei, statorul are toate cele șase capete ale înfășurărilor scoase la placa de borne (6.4). Acest sistem permite alimentarea motorului fie legat în stea, fie în triunghi. Rotorul este totdeauna legat în stea, cu nulul nescos la inele, deci inaccesibil. De la perii — prin cabluri — capetele înfășurărilor rotorice se scot la placa de borne a rotorului. Măsurarea rezistenței de izolație se face pe stator legînd megohmmetrul la bornele statorului, deconectînd sau lăsînd legat de cablul de alimentare.

Măsurarea rezistenței de izolație a circuitului rotoric pe ansamblu se face legînd megohmmetrul la una din bornele rotorului și avînd reostatul de pornire pe poziția de mers. Dacă este necesar să se măsoare separat fiecare element al circuitului rotoric, se ridică periile de pe inelele colectoare, se pune reostatul pe poziția zero, eventual

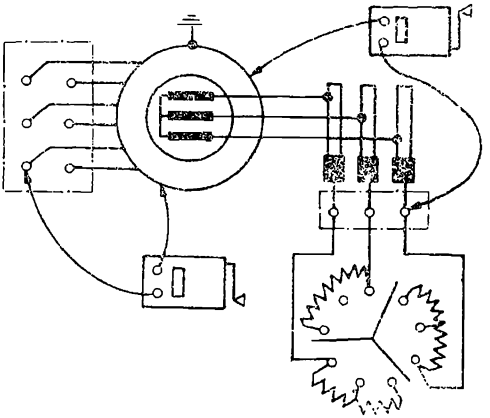


Fig. 6.4. Schema de legare a unui motor asincron cu rotorul bobinat.

se desfac legăturile cablului la placa de borne a rotorului. În acest fel s-au izolat înfășurările rotorice cu inelele colectoare, subansamblul portperii cu cablurile lui de legătură la placa de borne și reostatul cu cablul de legătură la placa de borne a rotorului. Borna *L* a megohmmetrului se leagă în punctele indicate în fig. 6.4 cu săgeată.

La motoarele electrice pentru serviciile interne ale centralelor electrice și stațiilor, valoarea rezistenței de izolație minimă admisibilă nu se calculează cu formula dată în STAS 1893. „Instrucțiunile M.E.E. pentru executarea încercărilor și măsurătorilor preventive la echipamentul electric nr. 59-55" prevăd stabilirea unei valori medii de exploatare a rezistenței de izolație definită ca media valorilor rezistenței de izolație măsurate anterior. La o măsurare de verificare, rezistența de izolație nu trebuie să fie mai mică decît 50% din valoarea medie de exploatare.

Pentru precizarea acestor noțiuni să considerăm următorul exemplu practic:

Să presupunem că în trecut, în diferite ocazii, s-au constatat, prin măsurare, următoarele valori ale rezistenței de izolație: 30 M Ω. 50 MΩ, 25 MΩ, 40 MΩ. Atunci valoarea medie de exploatare a rezistenței de izolație este egală cu media acestor valori

$$R_{x\,med} = \frac{30 + 50 + 25 + 40}{4} = \frac{145}{4} \simeq 36\,\text{MΩ}.$$

La următoarea verificare a rezistenței de izolație, valoarea ei nu trebuie să fie mai mică decît 50% din 36 MΩ, adică mai mică decît 19 MΩ.

Toate măsurările trebuie făcute totdeauna la aceeași temperatură, altfel nu se poate trage o concluzie justă asupra comportării izolației în timp.

6.3. Măsurarea rezistențelor de izolație a reostatelor de pornire și reglare

Acest tip de reostat se utilizează la pornirea și reglajul vitezei motoarelor asincrone cu rotorul bobinat. Ele se compun din două părți principale: rezistența cu treptele de pornire și un comutator (controler) care scurtcircuitează treptat rezistența. Schema electrică a unui asemenea reostat este reprezentată în fig. 6.5.

Comutatorul se realizează fie sub forma unui comutator cu ploturi, fie sub forma unui controler cu tambur.

Rezistența și comutatorul pot fi reunite într-un corp comun sau separate; de asemenea pot lucra în aer sau în ulei de transformator.

Măsurarea rezistenței de izolație a ansamblului rezistență se

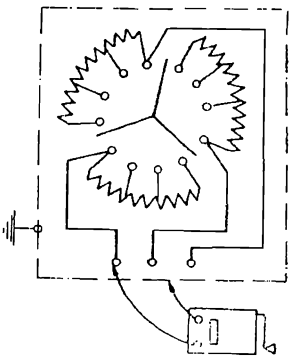


Fig. 6.5. Schema de legare a unui reostat de pornire.

face față de suporturi metalice și pereții cuvei în care se montează. La comutator se măsoară rezistența de izolație a pieselor sub tensiune: borne, ploturi, perii. Pentru a face măsurarea este necesar a se pune controlerul sau comutatorul pe poziția zero, pentru a se putea verifica separat fiecare din cele trei faze.

6.4. Măsurarea rezistenței de izolație a motoarelor de curent continuu

La motoarele de curent continuu, este necesar să se măsoare rezistența de izolație a înfășurărilor statorice, rotorice, și a ansamblului portperii față de masa mașinii. Capetele înfășurărilor sînt aduse la placa de borne a mașinii. Legăturile între înfășurări sînt făcute fie la placa de borne prin punți, fie la reostatul de pornire și reglaj în cazul în care există. În fig. 6.6 este reprezentată schema de legături a motorului de troleibuz.

Pentru măsurarea rezistenței de izolație este necesară deconectarea cablului de alimentare la placa de borne pentru a se izola motorul și legarea megohmmetrului la una din borne. Dacă este necesară măsurarea rezistenței de izolație separat pe fiecare din cele trei elemente amintite mai sus, se ridică periile din locașul lor și se verifică rezistența de izolație a rotorului punînd electrodul megohmmetrului direct pe colector. Pentru a se măsura rezistența de izolație a portperiilor trebuie dezlegate cablurile înfășurării polului auxiliar ce se leagă la portperii și, de asemenea, ridicate periile. În aceeași situație este și bobinajul statoric izolat.

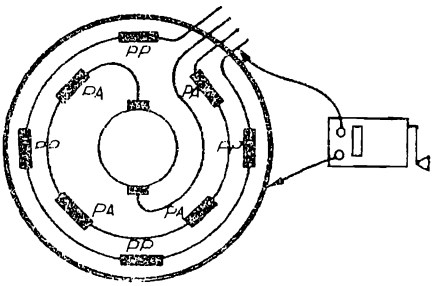


Fig. 6.6. Schema de legare a unui motor de curent continuu pentru troleibuz.

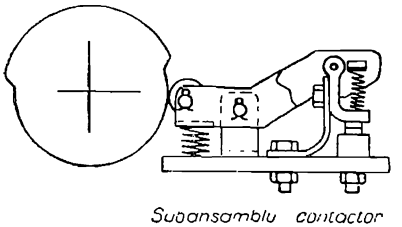
O importanță deosebită o are măsurarea rezistenței de izolație la motoarele ce funcționează în medii umede, așa cum sînt motoarele navale. Condițiile de izolare a acestor motoare sînt deosebit de severe. Mașina trebuie să aibă rezistența minimă de izolație de 0,25 MΩ în condiții de umiditate de 99% umiditate relativă. Trebuie menționat că în astfel de condiții apa condensează cu ușurință depunîndu-se sub formă de picături pe suprafața izolației, formînd adesea o peliculă lichidă la suprafața izolației În asemenea cazuri, rezistența de izolație scade la zero. Dacă apa condensată se găsește numai sub formă de picături izolate, rezistența se menține în limitele admise. În cazul scăderii rezistenței de izolație sub limita admisă, masina trebuie uscată. Se atrage atenția că în cazul în care mașina are condensatoare antiparazite montate la placa de borne, acestea trebuie deconectate, deoarece altfel străpung sub tensiunea de probă a izolației.

6.5. Măsurarea rezistenței de izolație a controlerelor de comandă

Controlerele se utilizează pentru pornirea și reglajul vitezei la motoarele de curent continuu de tracțiune ca: tracțiune urbană (tramvaie, troleibuze), tracțiune minieră (locomotive de mină) tracțiune electrică în calea ferată De asemenea, se utilizează la comanda mijloacelor de ridicat (macarale, poduri rulante, etc.) funcționînd cu motoare asincrone cu rotorul bobinat (subcap. 6.3).

Controlerul pentru mașinile de curent continuu se realizează ca un ansamblu de contactoare mecanice acționate cu came profilate ce se montează pe axul de manevră. De la cele două contacte, fix și mobil, ale contactorului, care sînt izolate față de masă, se trag legături, prin cablu izolat, la o placă de borne a controlerului. Este necesar să se verifice rezistența de izolație a tuturor pieselor sub tensiune. În mod obișnuit contactoarele nu au legătură între ele; de aceea sau se verifică separat ori se realizează o legătură provizorie între toate contactoarele și se măsoară rezistența de izolație pe ansamblu.

Trebuie avut în vedere ca această legătură provizorie să nu introducă o rezistență de izolație slabă falsificînd măsurarea (ea trebuie montată pe cît posibil în aer).



În fig. 6.7 este reprezentată schema unui controler de curent continuu cu contactoare acționate cu camă profilată.

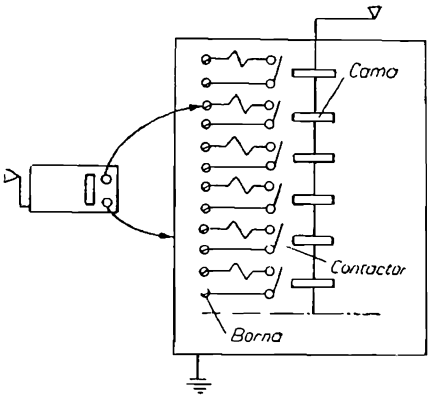


Fig. 6.7. Schema unui controler de curent continuu.

6.6. Măsurarea rezistenței de izolație a alternatoarelor

Alternatoarele se construiesc ca mașini sincrone. Ele au înfășurarea statorică de tip „curent alternativ" ca și motoare-asincrone, iar cea rotorică de tip „curent continuu".

Alternatoarele de putere mică sînt de obicei autoexcitate. Deci vom găsi în componența lor elemente redresoare, transformatoare și elemente de reglaj și stabilizare a tensiunii. Ele sînt de obicei la tensiunea de 400 V. Alternatoarele de putere mică nu pun probleme speciale în ce privește măsurarea rezistenței de izolație.

Alternatoarele de putere mare se construiesc la tensiuni înalte — excitația lor fiind furnizată de generatoare de c.c. Acestea prezintă anumite particularități la măsurarea rezistenței de izolație. Datorită tensiunii lor nominale mari la măsurarea rezistenței, se utilizează megohmmetre de 2 500—5 000 V. Datorită capacităților

mari pe care le au înfășurările lor — în operația de măsurare — aceste capacități se încarcă cu sarcină electrică, producîndu-se următoarele fenomene:

— Curentul furnizat de megohmmetru fiind mic, este necesar un anumit timp (aproximativ 1 min) pentru a se încărca întreaga capacitate a înfășurărilor. În timpul acestui proces de absorbție indicația megohmmetrului este greșită. Megohmmetrul indică adevărata valoare a rezistenței de izolație la sfîrșitul încărcării. Pentru a evita măsurările greșite trebuie să învîrtim de maneta megohmmetrului pînă cînd observăm că acul nu se mai mișcă. Această indicație este bună.

— Al doilea fenomen este acela că după măsurare, capacitățile înfășurărilor rămîn încărcate la tensiunea de măsurare. Este necesar, pentru motivele arătate anterior, să se descarce la pămînt aceste capacități. Pentru aceasta se utilizează comutatorul special de descărcare al megohmmetrului.

Trebuie menționat că înfășurările alternatoarelor mari au tensiuni mult diferite la stator și rotor. De aceea, este necesar să analizăm ce tensiune trebuie la megohmmetru. Trebuie de asemenea menționat că rezistențele de izolație ale alternatoarelor sînt mari, 100—1 000 MΩ.

Rezistența de izolație se măsoară la următoarele înfășurări: a statorului, a rotorului și a excitatoarei.

Înfășurarea statorului. Tensiunea nominală a acestei înfășurări, la alternatoarele de putere mare este peste 1 000 V. În mod curent, pentru măsurarea rezistenței de izolație se utilizează megohmmetre de 2 500 V. Instrucțiunile M.E.E. 59-55 prevăd obligativitatea măsurării rezistenței de izolație după fiecare oprire a mașinii, în orice caz cel puțin o dată pe an, iar în cazul opririlor dese de două ori pe lună.

Metoda de măsurare. Înainte de a începe măsurarea și după efectuarea ei se descarcă sarcinile reziduale legînd la pămînt timp de 2 min înfășurările. Rezistența de izolație se măsoară pe fiecare fază față de corpul mașinii, legînd celelalte faze împreună și punîndu-le la masă (fig. 6.8).

Dacă nu este posibil să separăm fazele, se măsoară rezistența de izolație a ansamblului înfășurărilor față de corpul mașinii (fig. 6.9).

Megohmmetrul se conectează legînd borna de linie la borna înfășurării respective și borna de pămînt la corpul metalic al mașinii. Citirea indicației megohmmetrului se

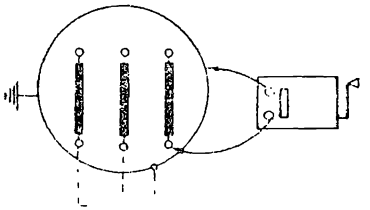


Fig. 6.8. Măsurarea rezistenței de izolație a unei singure faze.

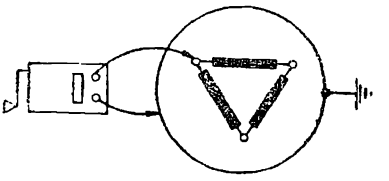


Fig. 6.9. Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurării în ansamblu.

face la 60 s după aplicarea tensiunii de măsură. Se învîrtește în continuare maneta de acționare timp de 60 s, în cazul megohmmetrului cu acționare manuală sau se așteaptă 60 s, în cazul megohmmetrelor cu alimentare la baterie. Această rezistență, care se citește, se notează cu R_{60}.

Măsurarea se face la oprirea mașinii, pe mașina caldă la 30—70°C, totdeauna la aceeași temperatură, pentru a putea compara rezultatele măsurătorii cu cele anterioare. În conformitate cu instrucțiunile M.E.E. 59-55, rezistența de izolație minimă nu trebuie să fie mai mică decît 50% din valoarea medie de exploatare definită la subcap. 6.3.

Pentru o apreciere mai exactă a stării izolației se definește un coeficient de asimetrie a fazelor. Dacă notăm cu $R_{60\,max}$ cea mai mare rezistență de izolație a celor trei faze și cu $R_{60\,min}$ cea mai mică rezistență a lor atunci coeficientul de asimetrie a este

$$a = \frac{R_{60\,max} - R_{60\,min}}{R_{60\,min}}.$$

Pentru o rezistență de izolație corespunzătoare, el trebuie să fie mai mic sau cel mult egal cu 2.

Înfășurarea rotorului. La măsurarea rezistenței de izolație se ridică periile pentru a separa rotorul de excitatoare. Rezistența se măsoară imediat după oprirea mașinii, la aceeași temperatură ca la măsurările anterioare. Se stabilește, ca și la stator, o valoare medie de exploatare a rezistenței de izolație. Valoarea minimă admisibilă a rezistenței de izolație a rotorului trebuie să fie mai mare decît 50% din valoarea medie de exploatare, dar în orice caz mai mare de 1 MΩ. Megohmmetrul se conectează fixînd borna activă pe un inel colector al rotorului și borna de pămînt la masa metalică a rotorului.

Înfășurările excitatoarei. Întrucît excitatoarea este o mașină de c.c. măsurarea rezistenței de izolație se face ca la subcap. 6.4. cu mențiunea că rezistența minimă admisibilă este 1 MΩ.

Pentru ansamblu rotor plus excitatoare, legate electric împreună, se prescrie o rezistență de izolație minimă admisibilă de 0,5 MΩ. În acest caz megohmmetrul se leagă la o bornă a circuitului principal al excitatoarei și o bornă la corpul metalic al excitatoarei. Trebuie avut în vedere să se lege la pămînt corpul metalic al rotorului alternatorului.

La alternatoare se mai măsoară rezistența de izolație a buloanelor de strîngere accesibile pentru care nu se normează rezistența minimă admisibilă. De asemenea, se măsoară rezistența de izolație a palierelor cu toate conductele de ulei montate, pentru care se prescrie o rezistență minimă admisibilă de 1 MΩ. Ambele măsurări se fac cu megohmmetrul de 1 000 V.

6.7. Măsurarea rezistenței de izolație a transformatoarelor de forță

Transformatoarele de forță sînt în mod obișnuit trifazate montate în cuve metalice și izolate în ulei de transformator. Înfășurările, atît primare cît și secundare, au conexiunile stea sau triunghi executate înăuntru, deci inaccesibile.

Capetele înfășurărilor sînt scoase prin izolatoare pe capacul metalic al cuvei.

Izolatoarele de tensiune înaltă se deosebesc ușor de cele de joasă tensiune prin dimensiunile lor. Ele sînt mai înalte, cu suprafață de fugă mai mare (mai multe pălării).

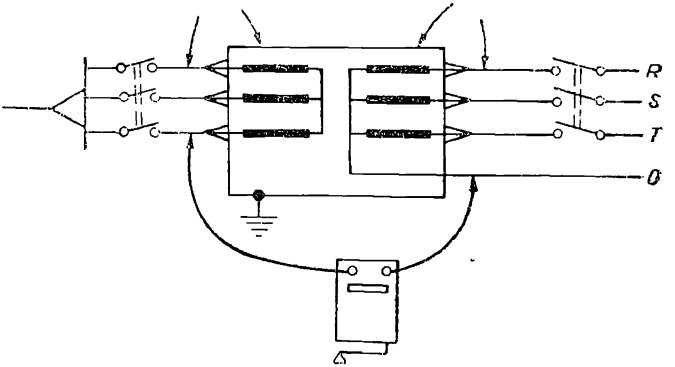


Fig. 6.10. Legarea megohmmetrului la un transformator de forță.

La transformatoare se verifică următoarele rezistențe de izolație:

— între înfășurarea primară și secundară;
— între înfășurarea secundară și cuva metalică;
— între înfășurarea primară și cuva metalică.

În fig. 6.10 este reprezentată schematic conectarea megohmmetrului.

Tabelul 6.1

Rezistența de izolație a transformatoarelor de forță, M Ω

Tensiunea nominală a înfășurării k	Temperatura uleiului, °C								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
Peste 110 kV	1 400	900	407	195	100	52	28	15	9
11—110 kV	300	540	214	117	60	31	16	9	6
Sub 11 kV	500	300	163	78	40	21	11	6	4

Dacă există măsurări ale rezistenței de izolație anterioare nu se utilizează valorile din tabelul 6.1, rezistența de izolație măsurată se compară cu valoarea medie a măsurărilor anterioare, la aceeași temperatură. Valoarea măsurată nu trebuie să fie mai mică decît 70% din valoarea medie a măsurărilor anterioare.

Valorile rezistențelor de izolație ale înfășurărilor transformatoarelor de forță servesc la aprecierea gradului de umezire a izolației înfășurărilor, împreună cu alți patru indicatori, dintre care se menționează numai coeficientul de absorbție $K_{abs} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$.

Gradul de umezire a izolației se consideră satisfăcător dacă rezistența de izolație R_{60} nu scade sub 70% din valoarea mediei măsurărilor anterioare, iar K_{60} este mai mare decît 1.3.

Măsurarea se face cu transformatorul deconectat de la rețea, cu luarea tuturor măsurilor de tehnica securității și protecția muncii, inclusiv descărcarea sarcinii reziduale, prin legarea înfășurărilor la pămînt timp de 3 min.

6.8. Măsurarea rezistenței de izolație a întrerupătoarelor

Măsurarea rezistenței de izolație a părții mobile (a tijelor) la întrerupătoare se face cu megohmmetrul de 2 500 V, pe fiecare fază separat. Măsurarea se execută cu ocazia reparațiilor curente și capitale, deci întrerupătorul nu este conectat în rețea. Procedeul de măsură este următorul:

— se închide întrerupătorul și se măsoară rezistența de izolație între fiecare fază și corpul metalic al întrerupătorului. Citirea aparatului se face după 60 s după aplicarea tensiunii de măsură și notăm cu R_i această valoare;

— se deschide întrerupătorul și se leagă în scurtcircuit bornele corespunzătoare contactelor mobile, măsurîndu-se

astfel rezistența de izolație pe toate fazele: notăm cu R_d această valoare și valoarea rezistenței de izolație pe fază este

$$R_i = \frac{R_d R_i}{R_d - R_i}.$$

Valoarea minimă admisă pentru această rezistență, în cazul cînd izolația tijei este organică, este arătată în tabelul 6.2. (conform instrucțiunilor M.E.E. 59-55).

Tabelul 6.2

Valoarea minimă admisibilă a rezistenței de izolație pe fază a întrerupătoarelor, M Ω

Situația întrerupătorului	Tensiunea nominală a întrerupătorului, kV		
	2–10	10–35	35–220
După reparație	1 000	3 000	5 000
În exploatare	300	1 000	1 000

La separatoare măsurare se execută cel puțin o dată la 3 ani (se recomandă o dată pe an) verificarea rezistenței de izolație a tijelor izolante de acționare, asemănător ca la întrerupătoare. Dacă tija este confecționată din lemn sau bachelită, valorile minime admisibile ale rezistenței de izolație, R_{30}, sînt aceleași ca în cazul întrerupătoarelor arătate în tabelul 6.2.

Se observă că, deși instrucțiunile M.E.E. 59-55 nu prevăd obligativitatea măsurării decît după reparații, ele indică totuși valori minime admisibile ale rezistenței de izolație pentru întrerupătoare și separatoare în exploatare.

În ambele cazuri, cînd tijele de acționare sînt din alte materiale (de obicei ceramice) nu se măsoară rezistența de izolație, nefiind un indicator util pentru aceste tipuri de materiale.

6.9. Măsurarea rezistenței de izolație a transformatoarelor de tensiune

La transformatoarele de tensiune se măsoară rezistența de izolație a înfășurărilor cu prilejul reparațiilor capitale și curente, dar cel puțin o dată la trei ani și rezistența de izolație a jugului și buloanelor de strîngere accesibile în timpul reparațiilor capitale.

Rezistența de izolație se măsoară între înfășurări și corpul metalic al transformatorului, precum și între înfășurările de joasă și înaltă tensiune.

La înfășurările de joasă tensiune se utilizează megohmmetre de 1 000 V, iar la înaltă tensiune megohmmetre de 2 500 V. Legarea megohmmetrului se face ca la transformatorul de forță (fig. 6.10).

Rezistența de izolație măsurată, R_{60}, se compară cu măsurările anterioare de care nu trebuie să difere mult. Dacă nu există asemenea măsurări, atunci se au în vedere următoarele valori minime admisibile:

— pentru înfășurările de joasă tensiune, în funcție de tensiunea lor nominală:

— pînă la 35 kV — 100 MΩ;
— peste 35 kV — 300 MΩ;

Tabelul 6.3

Valoarea minimă admisibilă a rezistenței de izolație a înfășurărilor de înaltă tensiune ale transformatoarelor de tensiune, MΩ

Tensiunea nominală a înfășurării kV	Situația transformatorului	Temperatura înfășurării, °C				
		5	10	20	30	40
Pînă la 10	După reparație	5 400	3 700	1 700	810	450
	În exploatare	3 300	2 150	1 000	570	240
10—35	După reparație	8 000	5 400	2 500	1 170	600
	În exploatare	4 800	3 250	1 450	700	360
Peste 35	După reparație	10 000	9 500	4 400	2 100	1 200
	În exploatare	8 400	5 400	2 400	1 200	600

— pentru înfășurările de înaltă tensiune, în funcție de tensiunea nominală, de temperatura înfășurării și de situația transformatorului conform tabelului 6.3.

Rezistența de izolație a buloanelor de strîngere și a jugului se măsoară cu megohmmetrul de 500 sau 1 000 V, valoarea ei minimă admisibilă nu se normează, apreciindu-se prin comparație cu măsurările anterioare.

6.10. Măsurarea rezistenței de izolație a transformatoarelor de curent

La transformatoarele de curent se măsoară rezistența de izolație a înfășurărilor o dată la trei ani. Măsurarea se execută cu megohmmetrul de 2 500 V numai la transformatoarele cu izolație în ulei. Valorile minime admisibile se apreciază prin comparație cu măsurări anterioare sau dacă acestea nu există, se adoptă valorile minime indicate în tabelul 6.3.

6.11. Măsurarea rezistențelor de izolație a bobinelor de stingere

La bobinele de stingere se măsoară rezistența de izolație a înfășurărilor cel puțin o dată la trei ani și cu prilejul reparațiilor capitale. Se măsoară, de asemenea, rezistența de izolație a jugului și buloanelor de strîngere, accesibilă, cu prilejul unei reparații capitale.

Se utilizează megohmmetrul de 500—1 000 V la înfășurările de joasă tensiune (dacă există) și megohmmetrul de 2 500 V la cele de înaltă tensiune.

Se măsoară următoarele rezistențe de izolație:

— între înfășurarea de înaltă tensiune și corpul metalic al bobinei;

— între înfășurarea de joasă tensiune (dacă există) și corpul metalic al bobinei;

— între înfășurarea de înaltă tensiune și joasă tensiune (dacă există).

Rezistențele de izolație, R_{60}, astfel măsurate se compară cu măsurările anterioare de care nu trebuie să difere mult.

Pentru jug și buloane se procedează ca la subcap. 6.9.

6.12. Măsurarea rezistenței de izolație a bobinelor de reactanță în ulei

Se măsoară rezistența de izolație a înfășurărilor cel puțin o dată la trei ani și cu prilejul unei reparații curente sau capitale. Măsurarea se execută cu megohmmetrul de 2 500 V între înfășurări și corpul metalic al bobinei de reactanță. Rezistența măsurată, R_{60}, se compară cu măsurările anterioare de care nu trebuie să difere mult. Dacă nu există asemenea măsurări se adoptă valorile minime indicate în tabelul 6.3.

6.13. Măsurarea rezistenței de izolație a bobinelor de reactanță în aer

Se măsoară rezistența de izolație a suporturilor confecționate din beton sau lemn, o dată la 6—12 luni și cu prilejul reparațiilor capitale.

Măsurarea se execută cu megohmmetrul de 1 000 sau 2 500 V, între înfășurare și armătura superioară (capacul) a izolatorului respectiv al fiecărui suport de beton sau lemn. Se verifică rezistența de izolație a fiecărui suport. Valoarea rezistenței de izolație se compară cu măsurările anterioare, la aceeași temperatură, de care nu trebuie să difere mult.

6.14. Măsurarea rezistenței de izolație a condensatoarelor

Măsurarea rezistenței de izolație a condensatoarelor statice se face o dată la 1—2 ani. Măsurarea se execută cu megohmmetrul de 1 000 V pentru condensatoare cu tensiune nominală sub 1 000 V și cu megohmmetrul

de 2 500 V pentru condensatoare cu tensiune nominală de 1 000 V. Măsurarea se face între fiecare armătură a condensatorului și corpul metalic, cealaltă armătură fiind izolată. Valoarea minimă admisibilă a rezistenței de izolație nu se normează, ci se compară cu măsurările anterioare.

6.15. Măsurarea rezistenței de izolație a cablurilor

Măsurarea se execută cu megohmmetrul de 1 000 sau 2 500 V pentru cabluri cu tensiune nominală peste 2 kV și cu megohmmetrul de 500—1 000 V pentru cabluri cu tensiune nominală sub 2 kV. Măsurarea rezistenței de izolație se face înainte și după încercarea rigidității dielectrice.

Pentru cablurile cu manta de plumb comună se măsoară rezistența de izolație dintre fiecare pereche de conductoare.

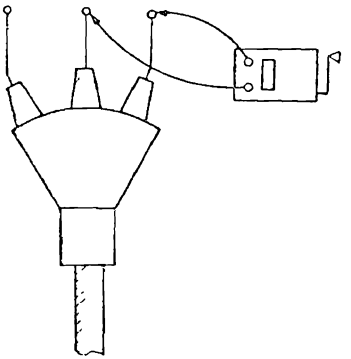


Fig. 6.11. Schema de măsurare a rezistenței de izolație a unui cablu.

Pentru cablurile cu manta de plumb individuală se măsoară rezistența de izolație între conductor și mantaua de plumb pusă la pământ.

Rezistența astfel măsurată nu trebuie să fie mai mică decît cea indicată în tabelul 6.4 (conform instrucțiunilor MEE 59-55).

Rezistența se măsoară la cutia terminală a cablului, după ce cablul a fost complet deconectat și după ce s-au descărcat sarcinile reziduale ale cablului prin legarea conductoarelor la pământ timp de 2—3 min. Modul cum se leagă megohmmetrul este reprezentat în fig. 6.11.

La cablurile de joasă tensiune, cu tensiunea nominală, pînă la 1 000 V, măsurarea se face cu megohmmetrul

Tabelul 6.4

Rezistența de izolație minimă admisibilă a cablurilor

Tensiunea nominală a cablului, kV	2	3	6	10	35
Rezistența de izolație minimă admisă, MΩ	20	20	50	50	50

de 500 sau 1 000 V. Rezistența minimă admisibilă între conductoare și mantaua de plumb pusă la pămînt trebuie să fie mai mare cu 1 MΩ.

6.16. Măsurarea rezistenței de izolație a uneltelor electrice portabile

Cele mai utilizate unelte electrice portabile sînt mașinile de găurit. Se mai întîlnesc polizoare electrice portabile, biaxe, foarfece electrice portabile etc. În general uneltele se compun dintr-un mic motor electric de antrenare, alimentat la tensiunea rețelei, comandat de un întrerupător și din mecanismul de lucru care poate fi foarte divers. Motorul de antrenare poate fi de tip asincron trifazat, cu rotorul în scurtcircuit (la mașinile de găurit mai mari, polizoare, biaxe), sau de tip asincron cu colector. Întrucît aceste unelte electrice portabile sînt în majoritatea cazurilor mînuite de neelectricieni este necesar un control sever al rezistenței de izolație, deoarece în cazul punerii la masă se pot întîmpla accidente mortale prin electrocutare. Alimentarea acestor unelte se face totdeauna prin cablu cu fișe de la o priză montată pe perete, pe bancul de lucru sau pe un cablu prelungitor. Fișa și priza fie că sînt trifazate, fie că sînt monofazate au totdeauna contact de nul care este legat la masa uneltei portabile și prin priză la nulul rețelei (6.12).

Măsurarea rezistenței de izolație se face legînd megohmmetrul între fișa sub tensiune și masa mașinii unelte. Este necesar să se verifice și continuitatea legăturii de nul. Pentru aceasta se leagă megohmmetrul între fișa de nul

care se recunoaște ușor fiind așezată excentric față de celelalte și masa mașinii. Dacă măsurarea nu indică net rezistența zero, înseamnă că legătura este întreruptă undeva și deci ea trebuie refăcută.

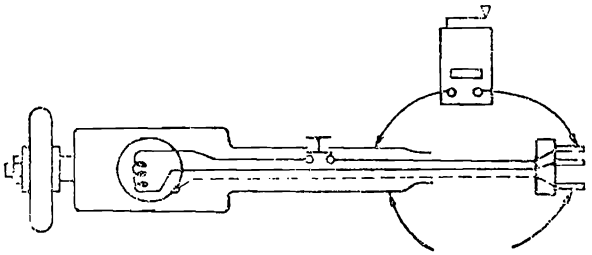


Fig. 6.12. Schema de măsurare a rezistenței de izolație a unui polizor electric portabil.

Rezistența de izolație minimă admisă nu este prescrisă în norme. Datorită condițiilor grele de lucru aceasta trebuie să fie mai mare decît în cazul mașinilor obișnuite. Comparate cu aparatele electrocasnice, unde se pun aceleași condiții grele de securitate, uneltele electrice manuale trebuie să aibă rezistență de izolație minimă de 1 MΩ. Prescripțiile cehoslovace indică valoarea de 2 MΩ.

6.17. **Măsurarea rezistenței de izolație a aparatelor electrocasnice**

Aparatele electrocasnice sînt de cele mai variate tipuri mașini de spălat, de cusut, de gătit etc. Datorită faptului că slăbirea rezistenței de izolație, cu consecința imediată de punere la masă a tensiunii, poate provoca accidente grave, condiția de izolare a acestor tipuri de aparate este foarte severă. Rezistența de izolație minimă admisă este de 1 MΩ, măsurată la 500 V. Metoda de măsurare este identică cu cea de la subcap. 6.16., întrucît și aici alimentarea se face prin cablu cu fișe cu contact de nul.

6.18. Măsurarea rezistenței de izolație a instalațiilor electrice interioare

Instalațiile electrice interioare servesc la alimentarea receptoarelor de forță și la iluminat. În mod obișnuit, alimentarea este realizată cu conductor de nul pentru receptoarele monofazate și fără conductoare de nul pentru receptoarele trifazate. Totdeauna există o centură metalică legată la pămînt la care se leagă masa metalică a receptoarelor. Majoritatea instalațiilor interioare din țara noastră au nulul neizolat legat la pămînt. În fig. 6.13 este dată o distribuție trifazată fără conductoare de nul, iar în fig. 6.14 o distribuție trifazată cu conductoare de nul legate la pămînt.

În conformitate cu „Normativul pentru proiectarea și recepționarea lucrărilor de instalații electrice cu tensiune pînă la 1 000 V la construcții civile și industriale", trebuie să se măsoare rezistența de izolație a conductoarelor față

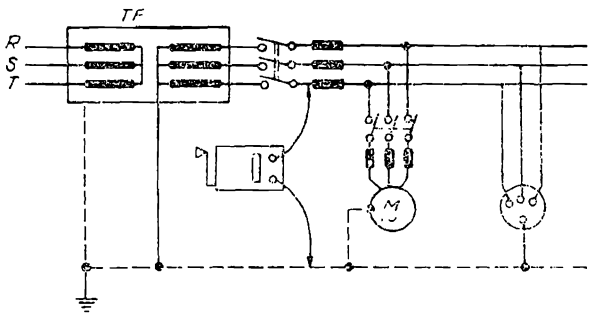


Fig. 6.13. Schema de măsurare a rezistenței de izolație a unei instalații de forță trifazate, fără conductor neutru.

de pămînt și a conductoarelor între ele. Tensiunea de măsură trebuie să fie de cel puțin 500 V, iar rezistența minimă admisă trebuie să fie 0,5 MΩ.

Măsurarea se execută conform normativului cu instalația nealimentată. Pentru a măsura rezistența de izolație a conductoarelor față de pămînt se poate fie să

deconectăm receptoarele și atunci măsurăm valoarea rezistenței de izolație globală a conductoarelor (în instalații trifazate fără nul sau nulul nelegat la pămînt), fie să deconectăm receptoarele și atunci măsurăm rezistența de izolație numai a conductoarelor. Măsurarea se face la

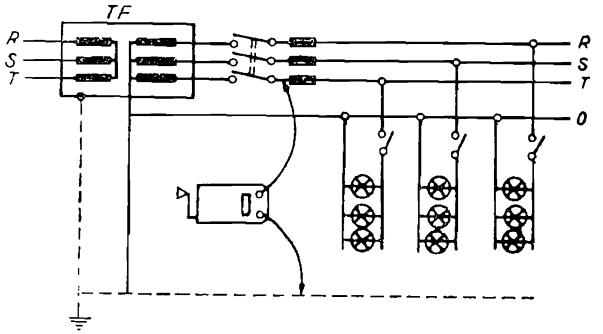


Fig. 6.14. Schema de măsurare a rezistenței de izolație a unei instalații de forță trifazate, cu conductor neutru.

tabloul de siguranțe, legînd megohmmetrul (fig. 6.13). Pentru a măsura rezistența de izolație a conductoarelor între ele este necesar să se deconecteze toate receptoarele, întrucît conductoarele de alimentare sînt legate între ele prin rezistențele interne ale receptoarelor (înfășurări, rezistoare etc.).

Ca și la motoare, pentru localizarea porțiunilor cu rezistență de izolație slabă, este necesar să se deconecteze elementele de circuit, măsurînd fiecare porțiune de circuit astfel izolată. În cazul instalațiilor realizate în tuburi de protecție se separă la doze porțiuni de circuit și, din aproape în aproape, se determină locul defectului. În asemenea instalații există două cazuri specifice de slăbire a izolației conductoarelor. Primul caz este determinat de condensarea de vapori de apă pe pereții interiori ai tuburilor de protecție. Apa se colectează în porțiunile joase ale circuitului unde determină slăbirea izolației. În ase-

menea cazuri este necesar să se scoată capacele dozelor și să se lase cîteva zile instalația să elimine apa prin evaporare naturală.

Al doilea caz apare din cauza unei proaste izolări a conexiunilor la doze. În anumite cazuri la dozele de derivație este o mare aglomerare de conexiuni și este posibil să scape porțiuni prost izolate. De aceea, la constatarea unei izolații slabe de un anumit circuit este necesar să desfacem capacele tuturor dozelor, să despărțim conexiunile izolîndu-le între ele și față de masă și să măsurăm în aceste condiții rezistența de izolație.

În cazul instalațiilor realizate în cablu, locul defectului trebuie căutat adeseori la capetele cablului. Aici depunerile de praf, executarea incorectă a capetelor de cablu, avariile la cutiile terminale și alte defecte fac posibilă scăderea rezistenței de izolație.

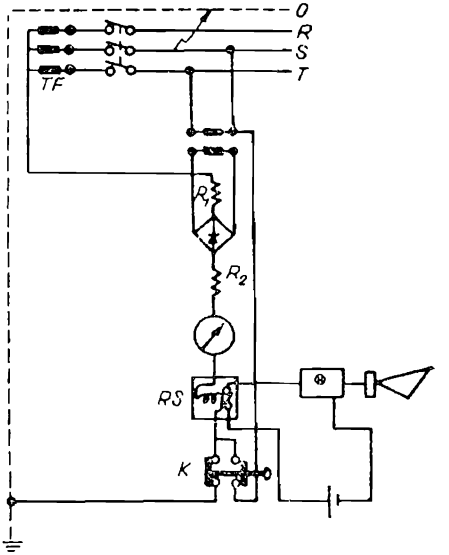


Fig. 6.15. Dispozitiv de măsurare și semnalizare a rezistenței de izolație într-o rețea cu neutru izolat.

Firește că în ambele cazuri se pot întîlni în practică situații cînd izolația instalației este îmbătrînită, fapt ce se poate verifica, fie constatînd vizual îmbătrînirea excesivă a izolației, fie izolînd o porțiune din circuit care în mod vizibil nu introduce rezistența de izolație slabă decît prin mantalele izolante ale conductoarelor și executînd în aceste condiții o măsurare de verificare.

Instalațiile de alimentare de mare importanță funcționează fie cu dispozitive de semnalizare a scăderii rezis-

tenței de izolație, fie cu dispozitive de măsurare continuă a rezistenței de izolație. În fig. 6.15 este reprezentată, după Jan Hrubes, „Măsurarea rezistenței de izolație", schema unui dispozitiv de semnalizare a punerii la pământ într-o instalație trifazată cu nulul izolat.

Circuitul de semnalizare este alimentat de un redresor în punte printr-un transformator alimentat la rîndul său la rețea. În circuitul de semnalizare se află rezistențele R_1 și R_2 de protecție, un miliampermetru și releul de semnalizare *RS*. Un capăt al circuitului se leagă la centura de nul de pământ, iar celălalt capăt la nulul transformatorului de forță *TF*. Acest circuit este deschis în mod normal. El se închide în cazul cînd se slăbește sau se distruge izolația unuia din conductoarele fazelor *R*, *S*, *T*. În acest caz releul de semnalizare închide contactul care comandă dispozitivul de semnalizare optică și acustică montat undeva într-un post de control.

Butonul de control *K* servește la verificarea dispozitivului de semnalizare.

7. Utilitatea metodei de apreciere a stării izolației prin măsurarea rezistenței ei

Valoarea rezistenței de izolație nu poate servi ca un criteriu sigur de apreciere a stării izolației. Aceasta deoarece rezistența de izolație este simțitor influențată de starea de umezeală sau murdărie a suprafeței izolației fără ca să existe o deteriorare a izolației. Pe de altă parte, în cazul izolației îmbătrînite, cu deteriorări mecanice grave ca fisuri, crăpături, care indică o stare foarte proastă a izolației, valoarea rezistenței de izolație poate fi foarte mare. În aceste cazuri aprecierea stării izolației, după valoarea rezistenței de izolație, duce la concluzii greșite, ceea ce se întîmplă deseori.

Cu toate acestea, utilitatea măsurării valorii rezistenței de izolație nu trebuie să fie neglijată. Într-o serie de

cazuri, această metodă permite descoperirea unor defecte de izolație mari și permite preîntîmpinarea unor defecte mari.

Această metodă trebuie să fie considerată ca o metodă utilă și expeditivă de control în exploatare.

Compararea valorilor rezistenței de izolație, măsurată periodic, pe timp mai îndelungat în aceleași condiții de temperatură, furnizează indicații foarte prețioase asupra evoluției stării izolației.

Micșorarea rezistenței de izolație sub limita admisă interzice punerea în funcțiune a instalației, chiar dacă constatarea ei nu ne îndreptățește să tragem concluzii sigure asupra stării izolației.

Pentru a aprecia starea izolației este necesar să se facă și alte probe de izolație: încercarea rigidității dielectrice, determinarea pierderilor dielectrice etc.

8. Uscarea izolației în exploatare

S-a arătat anterior că una dintre cauzele frecvente ale slăbirii rezistenței de izolație este umezirea ei. Umezeala care pătrunde în izolație provine din atmosferă de unde, la variații de temperatură se condensează, depunîndu-se în picături fine pe suprafețele mai reci. Se umezesc în special suprafețele închise, datorită faptului că la schimbările de temperatură ale aerului, ele se răcesc mai greu. Pericolul prezentat de umezirea izolației este deosebit de grav în cazul mașinilor de înaltă tensiune, peste 1 000 V. Cele de joasă tensiune, cu tensiune nominală sub 1 000 V, în cazul în care umezirea nu este prea înaintată, pot funcționa ca atare, deoarece la tensiunea de 220—500 V nu străpung, iar în timpul funcționării se încălzesc, eliminînd umezeala din izolație.

În ce privește mașinile de înaltă tensiune și în special turbogeneratoarele, este necesar să se usuce bine izolația lor înainte de a fi puse sub tensiune, deoarece fără o uscare prealabilă, se poate produce o străpungere.

Uscarea mașinilor de înaltă tensiune după montare sau după repaus de lungă durată trebuie efectuată, chiar în cazul cînd rezistența izolației înfășurărilor față de masă este destul de mare. Înainte de uscare, mașina trebuie curățată bine de praf și alte corpuri străine, prin suflare cu aer comprimat.

Încălzirea mașinii trebuie să se facă treptat, cu un control riguros al temperaturii. Nu se admit temperaturi mai înalte decît 130°C. Pentru îndepărtarea umidității care se evaporă este necesar să se asigure o circulație a aerului în jurul înfășurărilor.

Controlul uscării mașinilor de înaltă tensiune se face folosind curbele de absorbție. Am văzut în subcap. 5.4 și 6.6. că la mașinile de înaltă tensiune, din cauza capacității mari a înfășurărilor, acul indicator al megohmmetrului se deplasează lent către diviziunea scalei corespunzătoare rezistenței de izolație pe care o are mașina. Această deplasare lentă a acului ne indică faptul că înfășurările mașinii absorb curentul debitat de generatorul megohmmetrului, pînă cînd capacitatea înfășurărilor se încarcă complet la tensiunea megohmmetrului. Dacă în timpul măsurării notăm poziția acului pe scala aparatului (diviziunea în dreptul căreia se află), la anumite intervale de timp (de exemplu din 5 în 5 s) putem ridica o diagramă, care ne indică grafic viteza cu care se deplasează acul către diviziunea finală. Această diagramă poartă numele de *curbă de absorbție*.

În cazul în care mașina este umedă, în afară de curentul de încărcare a capacității înfășurărilor mai apar curenții de scurgeri prin izolație. Cum puterea generatorului megohmmetrului este foarte mică, el nu poate încărca capacitatea înfășurărilor în același timp ca în cazul mașinii uscate. De aici rezultă că în cazul mașinii umede acul se deplasează mai lent, deci se obține o curbă de absorbție diferită de cea a mașinii uscate. Dacă se ridică mai multe asemenea curbe în timpul uscării, se poate aprecia momentul cînd mașina este uscată.

Ridicarea curbelor de absorbție este o operație dificilă; ea se execută numai în cazul mașinilor de mare importanță (putere mare, tensiune mare).

Pentru a se simplifica această metodă se notează numai două poziții ale acului indicator:

— poziția la care se află acul pe scala aparatului după 15 s de la începerea măsurării, care se notează cu R_{15} [MΩ];

— poziția acului după 60 s care se notează cu R_{60}.

Raportul $K_{60} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$, numit *coeficient de absorbție*, caracterizează viteza de deplasare a acului indicator, deci caracterizează gradul de umiditate al mașinii.

Dacă acest raport are valoarea 1,3~1.5 se poate considera că izolația este bine uscată.

Să presupunem că la o măsurare de rezistență de izolație s-au citit următoarele valori:

— după 15 s de la începerea măsurării acul se afla în dreptul diviziunii 50 MΩ;

— după 60 s acul se afla în dreptul diviziunii 75 MΩ.

În acest caz $K_{60} = \frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{75}{50} = 1{,}5$, deci mașina este uscată.

Instrucțiunile M.E.E. 59-55 prevăd, în cazul alternatoarelor, utilizarea acestui indicator în modul următor:

Se măsoară coeficientul de absorbție imediat după oprirea mașinii și pe măsură ce mașina se răcește, pentru cîteva valori ale temperaturii mașinii precum și în stare rece. După repararea sau revizia mașinii înainte de punere în funcțiune se măsoară din nou coeficientul de absorbție: el nu trebuie să scadă față de valorile obținute la oprirea mașinii cu un procent mai mare decît cel arătat în tabelul 8.1 pentru diferite temperaturi.

Tabelul 8.1

Valorile admisibile ale scăderii coeficientului de absorbție

Temperatura mașinii, °C	20	30	40	50	60	70
Scăderea admisă a lui K_{60}, %	44	30	25	22	20	19

Uscarea motoarelor asincrone și a mașinilor de curent continuu. Pentru motoarele asincrone se utilizează următoarele metode:

— alimentarea înfășurării statorice cu curent continuu sau alternativ,

— uscarea prin pierderi în fierul statorului;

— uscarea prin surse de căldură exterioare mașinii.

Pentru uscarea motoarelor de curent continuu se pot utiliza următoarele metode:

— uscarea prin curent continuu de scurtcircuit;

— uscarea cu ajutorul unor surse separate de curent,

— uscarea prin încălzire exterioară.

În toate aceste metode trebuie să se dispună de posibilitatea de a putea varia tensiunea aplicată.

Uscarea mașinilor sincrone. Pentru uscarea mașinilor sincrone se folosesc următoarele metode de încălzire:

— Alimentarea înfășurării statorului sau a rotorului cu curent continuu. Aceasta se poate face și cu rotorul montat și nemontat. La folosirea acestei metode trebuie protejată rețeaua de alimentare evitîndu-se formarea de supratensiuni datorite capacității înfășurărilor.

— Alimentarea înfășurărilor statorice cu curent alternativ. Dacă rotorul este demontat, statorul poate fi alimentat cu curent trifazat. Dacă rotorul este montat, înfășurările statorului se leagă în serie și se alimentează. Tensiunea sursei de alimentare trebuie aleasă astfel ca prin înfășurări să circule un curent egal cu 50—70% din cel nominal al mașinii.

— Încălzirea mașinii prin pierderi în fierul mașinii. La această metodă înfășurările statorului sînt legate la o tensiune trifazată scăzută, convenabil aleasă pentru a nu se depăși în fierul rotoric temperatura de circa 70°C.

Cîmpul magnetic învîrtitor care ia naștere în stator, provoacă în fierul rotoric pierderi care încălzesc rotorul. Nu se poate utiliza metoda la rotoare care au bandaje pe rotor.

Conform instrucțiunilor M.E.E. 59-55, în timpul uscării se măsoară din 2 în 2 h K_{60}.

Uscarea statorului alternatorului se consideră terminată dacă se îndeplinesc simultan următoarele condiții:

— rezistența de izolație a înfășurărilor, R_{60}, nu mai crește timp de 6 ~ 10 h;

— coeficientul de absorbție, K_{60}, nu mai crește timp de 6 ~ 10 h.

Uscarea rotorului se consideră terminată dacă rezistența de izolație a înfășurării, R_{60}, este mai mare de 1 MΩ.

9. Planificarea verificării periodice a rezistenței de izolație

Din cele arătate anterior se poate concluziona că măsurarea rezistenței de izolație constituie o indicație prețioasă a respectării condițiilor de funcționare a instalațiilor și mașinilor electrice.

Condițiile de funcționare ale instalațiilor și mașinilor electrice sînt din cele mai variate și prin urmare acțiunea factorilor externi și interni asupra stării izolației prezintă aceeași varietate. Verificarea periodică a rezistenței de izolație trebuie să aibă în vedere acțiunea acestor factori. De asemenea, trebuie avute în vedere condițiile de funcționare privind lungimea timpului de repaus.

Datorită acestei diversități de situații nu se pot indica îndreptare generale privind verificarea rezistenței de izolație. În anumite domenii bine definite s-au redactat regulamente și instrucțiuni în care printre altele se indică și obligativitatea măsurării rezistenței de izolație.

Astfel „Instrucțiunile pentru executarea încercărilor și măsurătorilor preventive la echipamentul electric nr. 59-55", elaborate de M.E.E., prevăd pentru echipamentul de forță și auxiliar al centralelor și stațiilor verificarea periodică a rezistenței de izolație. Periodicitatea verificărilor este arătată în tabelul 9.1.

În linii generale se pot indica următoarele situații cînd este necesar să se măsoare rezistența de izolație:

— înainte de punerea în funcțiune;

— după reparații accidentale, curente sau capitale;

Tabelul 9.1

Verificările periodice ale echipamentului electric

Obiectul verificării	Ce se verifică	Perioada
Generatoare sincrone	Rezistența de izolație a tuturor înfășurărilor	Cu prilejul fiecărei opriri a mașinii, dar în orice caz o dată pe an. În cazul opririlor dese, de două ori pe lună
	Rezistența de izolație a buloanelor de strîngere accesibile ale statorului	Cu prilejul unei reparații capitale
	Rezistența de izolație a palierelor cînd toate conductele de ulei sînt montate	Cu prilejul demontării rotorului
	Rezistența de izolație a termodetectoarelor	Cu prilejul unei reparații capitale
Motoare electrice pentru serviciile interne ale centralelor electrice și stațiilor de transformare	Rezistențele de izolație ale tuturor înfășurărilor motorului și aparatelor de pornire și reglaj	Cu prilejul unei reparații curente, dar cel puțin o dată pe an
Transformatoare de forță	Umiditatea înfășurărilor (măsurarea R_{60} și R_{15})	Cu prilejul unei reparații curente sau capitale
Transformatoare de tensiune	Rezistența de izolație a înfășurărilor	Cu prilejul unei reparații curente sau capitale, dar cel puțin o dată la trei ani
	Rezistența de izolație a jugului și buloanelor de strîngere accesibile	Cu prilejul unei reparații capitale
Transformatoare de curent	Rezistența de izolație a înfășurărilor	O dată la trei ani

Tabelul 9.1 (continuare)

Obiectul verificării	Ce se verifică	Perioada
Bobine de stingere	Rezistența de izolație a înfășurărilor Rezistența de izolație a jugului și buloanelor de strîngere accesibile	Cel puțin o dată la trei ani cu prilejul unei reparații capitale Cu prilejul unei reparații capitale
Bobine de reactanță în aer	Rezistența de izolație a suporturilor confecționate din beton sau lemn	O dată la 6—12 luni, cu prilejul reparațiilor capitale
Întrerupătoare	Rezistența de izolație a părții mobile (a tijelor)	Cu prilejul unei reparații curente sau capitale
Separatoare	Rezistența de izolație a tijelor izolante de acționare	Cel puțin o dată la trei ani
Condensatoare	Rezistența de izolație	O dată la 1—2 ani
Cabluri	Rezistența de izolație a conductoarelor	O dată pe an pentru cabluri nefuncționînd în condiții grele de lucru. Pentru cele funcționînd în condiții grele conform instrucțiunilor speciale

— după pauze în funcționare;

— după schimbări bruște în parametrii (temperatură, umiditate) mediului ambiant, accidentale sau normale;

— după funcționări în regim de șocuri sau suprasarcină;

— după deranjamentele altor elemente cu care formează o rețea;

— la constatarea unei funcționări anormale.

10. Măsuri de protecția muncii la efectuarea măsurărilor de izolație

Măsurarea rezistenței de izolație pune în contact direct cu piesele care în funcționare sînt sub tensiune. Prezența accidentală a tensiunii pe aceste piese ne pune în pericol de electrocutare.

De aceea, prima măsură de protecție înainte de efectuarea măsurării este să deconectăm de la rețea obiectul de măsurat, apoi să ne asigurăm împotriva conectării greșite de către altcineva în timpul măsurării. Metodele acestei asigurări sînt reglementate în instrucțiuni specifice pentru fiecare tip de instalație.

Înainte de a pune mîna pe borne trebuie ca persoana să se asigure de dispariția tensiunii de pe ele. Acest lucru se face diferit, în funcție de tensiunea nominală a bornei, fapt de asemenea reglementat în instrucțiuni și regulamente.

În general, la tensiunea 380/220 V se verifică cu o lampă de control și la tensiuni mai mari cu indicatorul de tensiune.

După măsurare, în cazul instalațiilor de înaltă tensiune, trebuie să se descarce capacitatea care s-a încărcat în timpul măsurării.

Bibliografie

1. * * * Manualul inginerului electrician, vol. 1, București, Editura tehnică, 1954.
2. Arutiunov, V. O. Instrumente și aparate electrice de măsurat (trad. din l. rusă). București, Editura tehnică, 1952.
3. Nanu, A. Încercarea materialelor electrotehnice. București, Editura tehnică, 1960.
4. Ionescu, D., Chiorăscu, C. Aparate și metode de măsurat electrice. București, Editura de stat didactică și pedagogică, 1959.
5. * * * Instrucțiunile pentru executarea încercărilor și măsurătorilor preventive la echipamentul electric. M.E.E. 59-55.
6. Vinogradov, N. V. Fabricarea mașinilor electrice (trad. din l. rusă). București, Editura tehnică, 1964.

Cuprins

1. **Necesitatea măsurării rezistenței de izolație** 3
2. **Rezistența de izolație** 4
3. **Unități de măsură** 9
4. **Metode de măsurare a rezistenței de izolație** 10
   4.1. Condiții de măsurare 11
   4.2. Metoda galvanometrului 12
5. Aparate pentru măsurarea rezistenței de izolație . . . 14
   5.1. Aparate cu magnet permanent și bobină mobilă (aparate magnetoelectrice) 15
   5.2. Aparate logometrice 16
   5.3. Schemele logometrelor utilizate ca megohmmetre . . 19
   5.4. Megohmmetre de fabricație cehoslovacă 20
   5.5. Megohmmetre de fabricație sovietică 26
      5.5.1. Megohmmetrul tip M. 1101 26
      5.5.2. Megohmmetrul tip MC.06-2500 V 27
   5.6. Megohmmetre de fabricație engleză 27
   5.7. Megohmmetre de fabricație românească 28
6. **Măsurarea rezistenței de izolație a aparatelor, mașinilor și instalațiilor electrice** 31
   6.1. Considerații generale 31
   6.2. Măsurarea rezistenței de izolație a motoarelor asincroane 32
      6.2.1. Condițiile de lucru ale izolației mașinilor electrice 32
      6.2.2. Acțiunea factorilor interni și externi asupra izolației 33
      6.2.3. Defectele mașinilor electrice cauzate de scăderea rezistenței de izolație 34
      6.2.4. Motoare asincrone trifazate în scurtcircuit . . 36
      6.2.5. Motoare asincrone cu rotorul bobinat 39
   6.3. Măsurarea rezistențelor de izolație a reostatelor de pornire și reglare 41
   6.4. Măsurarea rezistenței de izolație a motoarelor de curent continuu 42

6.5. Măsurarea rezistenței de izolație a controlerelor de comandă 43
6.6. Măsurarea rezistenței de izolație a alternatoarelor 44
6.7. Măsurarea rezistenței de izolație a transformatoarelor de forță 47
6.8. Măsurarea rezistenței de izolație a întrerupătoarelor 49
6.9. Măsurarea rezistenței de izolație a transformatoarelor de tensiune 51
6.10. Măsurarea rezistenței de izolație a transformatoarelor de curent 52
6.11. Măsurarea rezistenței de izolație a bobinelor de stingere 52
6.12. Măsurarea rezistenței de izolație a bobinelor de reactanță în ulei 53
6.13. Măsurarea rezistenței de izolație a bobinelor de reactanță în aer 53
6.14. Măsurarea rezistenței de izolație a condensatoarelor 53
6.15. Măsurarea rezistenței de izolație a cablurilor . . 54
6.16. Măsurarea rezistenței de izolație a uneltelor electrice portabile 55
6.17. Măsurarea rezistenței de izolație a aparatelor electrocasnice 56
6.18. Măsurarea rezistenței de izolație a instalațiilor electrice interioare 57
7. Utilitatea metodei de apreciere a stării izolației prin măsurarea rezistenței ei 60
8. Uscarea izolației în exploatare 61
9. Planificarea verificării periodice a rezistenței de izolație 65
10. Măsuri de protecția muncii la efectuarea măsurărilor de izolație 68
Bibliografie 69

Redactor responsabil: ing. LAURA ROMERT
Tehnoredactor: ELENA GERU

Dat la cules: 05.11.1966. Bun de tipar: 03.04.1967. Apărut: 1967. Tiraj: 7500+140 ex. broşate. Hîrtie: tipar înalt tip B, de 63 g m². Format: 540×840 16. Coli editoriale: 3,52. Coli de tipar: 4.50. A.: 16 032/1966. C.Z. pentru bibliotecile mari: 621.317.735. C.Z. pentru bibliotecile mici: 621.

Tiparul executat sub comanda nr. 574/66 la Întreprinderea poligrafică „Crişana" Oradea, str. Moscovei nr. 5,